

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl<sup>6</sup>

H01L 27/108

H01L 27/04 H01L 21/82

H01L 21/8242

## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 98118366.2

[43]公开日 1999 年 6 月 30 日

[11]公开号 CN 1221220A

[22]申请日 98.8.17 [21]申请号 98118366.2

[30]优先权

[32]97.12.24 [33]JP [31]367189/97

[71]申请人 三菱电机株式会社

地址 日本东京都

[72]发明人 田中义典 清水雅裕 有马秀明

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

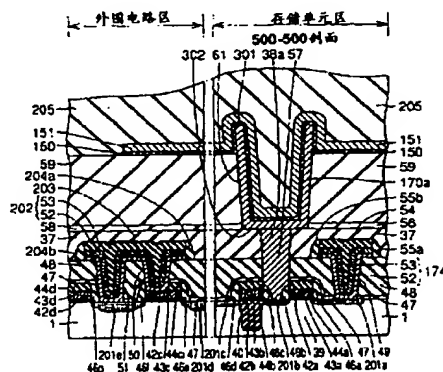
代理人 杨 凯 叶恺东

权利要求书 4 页 说明书 52 页 附图页数 63 页

[54]发明名称 具备电容器的半导体装置及其制造方法

[57]摘要

可得到一种在确保一定的电容器电容的同时可实现高集成化并具有高的可靠性的半导体装置及其制造方法。该半导体装置包含存储单元区和外围电路区,具备在半导体衬底(1)的主表面上从上述存储单元区延伸到外围电路区的绝缘膜(59)。在存储单元区内形成电容器下部电极(170a),电容器下部电极(170a)包含具有顶面(301)和底面(302)的电容器下部电极部分,使绝缘膜(59)的上部表面位于电容器下部电极部分的顶面(301)和底面(302)之间。



## 权 利 要 求 书

1. 一种包含存储单元区和外围电路区的半导体装置, 其特征在于:

具备:

5 具有主表面的半导体衬底;

具有上部表面的绝缘膜, 该绝缘膜在上述半导体衬底的主表面上形成, 该绝缘膜从上述存储单元区延伸到上述外围电路区;

10 电容器下部电极, 该电容器下部电极在上述存储单元区内形成, 在上述半导体衬底的主表面上从上述绝缘膜的上部表面延伸到上方; 以及

电容器上部电极, 该电容器上部电极在上述电容器下部电极上介入电介质膜而形成, 并延伸到上述绝缘膜的上部表面上,

上述电容器下部电极包含相对于上述电容器上部电极向上方延伸并具有顶面和底面的电容器下部电极部分,

15 上述绝缘膜的上部表面位于上述电容器下部电极部分的顶面和底面之间。

2. 如权利要求 1 中所述的半导体装置, 其特征在于:

上述电容器下部电极包含第 1 和第 2 电容器下部电极;

20 在上述存储单元区内上述第 1 和第 2 电容器下部电极经上述绝缘膜的一部分而互相邻接;

上述绝缘膜的一部分具有比用光刻加工能形成的最小加工尺寸小的宽度。

3. 如权利要求 1 中所述的半导体装置, 其特征在于:

25 具备在位于上述绝缘膜的上部表面之上的上述电容器下部电极的侧面形成的侧壁电极部。

4. 如权利要求 1 中所述的半导体装置, 其特征在于:

具备在上述电容器下部电极部分的侧面和底面的仅一部分的至少一个面与上述绝缘膜之间形成的上述电介质膜。

5. 如权利要求 1 中所述的半导体装置, 其特征在于, 具备:

30 在位于上述电容器下部电极下的区域内, 在上述半导体衬底的主表面上形成的第 1 布线层; 以及

在上述第 1 布线层上形成的第 1 层间绝缘膜, 该第 1 层间绝缘膜

与上述第 1 布线层和上述电容器下部电极部分接触。

6. 如权利要求 1 中所述的半导体装置, 其特征在于:

具备:

第 2 导电区, 该第 2 导电区在位于上述电容器下部电极之下的区  
5 域内和在上述半导体衬底的主表面上形成;

第 3 层间绝缘膜, 该第 3 层间绝缘膜在上述第 2 导电区上形成,  
具有使该第 2 导电区的表面露出的第 2 接触孔;

第 3 布线层, 该第 3 布线层在上述第 3 层间绝缘膜上形成;

布线保护膜, 该布线保护膜在上述第 3 布线层上形成; 以及

10 导电体膜, 该导电体膜在上述第 2 接触孔的内部形成, 导电性地  
连接上述第 2 导电区与上述电容器下部电极,

上述布线保护膜与上述电容器下部电极或上述导电体膜接触。

7. 如权利要求 1 中所述的半导体装置, 其特征在于, 具备:

15 上述电容器上部电极, 形成该电容器上部电极使其延伸到上述外  
围电路区;

第 4 层间绝缘膜, 该第 4 层间绝缘膜在上述电容器上部电极上形  
成, 具有使上述电容器上部电极的表面露出的第 3 接触孔; 以及

外围电路元件保护膜, 该外围电路元件保护膜在位于上述第 3 接  
触孔下的区域内及在上述绝缘膜下形成。

20 8. 如权利要求 1 中所述的半导体装置, 其特征在于, 具备:

外围电路绝缘膜, 该外围电路绝缘膜在上述外围电路区内具有外  
围电路区开口部;

上述电容器上部电极, 形成该电容器上部电极使其延伸到上述外  
围电路区开口部的内部; 以及

25 第 4 层间绝缘膜, 该第 4 层间绝缘膜在上述外围电路区开口部上  
形成, 具有使上述电容器上部电极的表面露出的第 4 接触孔。

9. 如权利要求 1 中所述的半导体装置, 其特征在于:

具备:

30 上述电容器上部电极, 形成该电容器上部电极使其延伸到上述外  
围电路区;

第 4 层间绝缘膜, 该第 4 层间绝缘膜在上述电容器上部电极上形  
成, 具有使该电容器上部电极的表面露出的第 5 接触孔; 以及

外围电路元件，该外围电路元件在上述外围电路区中及在上述绝缘膜下形成，

在与上述外围电路元件平面上不重叠的区域内形成上述第5接触孔。

- 5 10. 一种包含存储单元区和外围电路区的半导体装置，其特征在于：

具备：

具有主表面的半导体衬底；

- 10 具有上部表面的绝缘膜，该绝缘膜在上述半导体衬底的主表面上形成，该绝缘膜从上述存储单元区延伸到上述外围电路区；

电容器下部电极，该电容器下部电极在上述存储单元区内形成，在上述半导体衬底的主表面上延伸到与上述绝缘膜的上部表面大致相同的高度，该电容器下部电极包含经上述绝缘膜的一部分邻接的第1和第2电容器下部电极；以及

- 15 电容器上部电极，该电容器上部电极在上述电容器下部电极上介入电介质膜而形成，并延伸到上述绝缘膜的上部表面上，

上述电容器下部电极包含相对于上述电容器上部电极向上方延伸并具有顶面和底面的电容器下部电极部分，

- 20 上述绝缘膜的一部分具有比用光刻加工能形成的最小加工尺寸小的宽度。

11. 如权利要求10中所述的半导体装置，其特征在于：

上述电容器下部电极的侧面具有弯曲面。

12. 如权利要求10中所述的半导体装置，其特征在于：

上述绝缘膜包含刻蚀率各不相同的上部绝缘膜和下部绝缘膜。

- 25 13. 如权利要求10中所述的半导体装置，其特征在于：

具备在上述电容器下部电极部分的侧面和底面的仅一部分的至少一个面与上述绝缘膜之间形成的上述电介质膜。

14. 一种包含存储单元区和外围电路区的半导体装置制造方法，其特征在于：

- 30 具备：

形成具有上部表面的绝缘膜的工序，该绝缘膜在半导体衬底的主表面上从上述存储单元区延伸到上述外围电路区；



在上述存储单元区内通过用刻蚀除去上述绝缘膜的一部分来形成开口部的工序；

在上述半导体衬底的主表面上及在上述开口部的内部形成电容器下部电极的工序；以及

- 5 形成电容器上部电极的工序，该电容器上部电极在上述电容器下部电极上介入电介质膜延伸到上述绝缘膜的上部表面上，

形成上述电容器下部电极的工序包含形成相对于上述电容器上部电极向上方延伸并具有顶面和底面的电容器下部电极部分的工序，

- 10 形成上述绝缘膜的工序包含使上述绝缘膜的上部表面的位置位于上述电容器下部电极部分的顶面和底面之间的工序。

15. 如权利要求 14 中所述的半导体装置的制造方法，其特征在于：

具备：

- 15 在位于上述电容器下部电极下的区域中及在上述半导体衬底的主表面上形成导电区的工序；

在上述导电区上形成层间绝缘膜的工序；

在上述层间绝缘膜上形成布线层的工序；

在上述布线层上形成布线保护膜；以及

- 20 为了导电性地连接上述导电区与上述电容器下部电极，通过用刻蚀除去上述层间绝缘膜的至少一部分来形成接触孔的工序，

使用上述布线保护膜作为形成上述接触孔的工序中的刻蚀中使用的掩模的一部分。

# 说明书

## 具备电容器的半导体装置及其制造方法

5 本发明涉及半导体装置及其制造方法，更特定地说，涉及具备电容器的半导体装置及其制造方法。

近年来，对于半导体装置，特别是以 DRAM（动态随机存取存储器）等为代表的半导体存储器，高集成化、微细化的要求越来越强。图 114 是现有的 DRAM 的存储单元区的一部分的平面示意图。参照图 114，现有的 DRAM 的存储单元区具备：场效应晶体管；包含电容器下部电极 1170a、1170b 的电容器；字线 1043a、1043b、1043e、1043f；以及位线 1174。上述场效应晶体管由起到栅电极的作用的字线 1043a、1043e 和起到源/漏区的作用的有源区 1039 构成。具体地说，在半导体衬底的主表面中形成有源区 1039，在半导体衬底的主表面上形成字线 1043a、1043b、1043e、1043f。而且，在字线 1043a、1043b、1043e、1043f 和半导体衬底的主表面上形成第 1 层间绝缘膜（图中未示出）。然后，在该第 1 层间绝缘膜上形成位线 1174，使其大致与字线 1043a、1043b、1043e、1043f 正交。然后，在位线 1174 和第 1 层间绝缘膜上形成第 2 层间绝缘膜（图中未示出）。在第 2 层间绝缘膜上形成电容器下部电极 1170a、1170b。位线 1174 在接触孔 1049 中与有源区 1039 电连接。电容器下部电极 1170a、1170b 分别在接触孔 1038a、1038b 中与有源区 1039 中的上述场效应晶体管的源/漏区之一电连接。而且，在图 115 中示出该 DRAM 的存储单元区的沿 500-500 线的剖面图。

图 115 是示出图 114 的沿 500-500 线的剖面和 DRAM 的外围电路区的剖面的剖面图。参照图 115，在 DRAM 的存储单元区中，在被槽分离氧化膜 1040 包围的有源区 1039 中形成场效应晶体管的源/漏区 1201a、1201b。在被该一对源/漏区 1201a、1201b 夹住的沟道区上，经栅绝缘膜 1042a 形成栅电极 1043a。在栅电极 1043a 上形成氮化硅膜 1044a。栅电极 1043a 由 n 型掺杂多晶硅构成。在栅电极 1043a 和氮化硅膜 1044a 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁 1046a、1046b。在侧壁 1046a、1046b、氮化硅膜 1044a 和半导体衬底 1001 的主表面上形成非掺杂氧化硅膜 1047。在槽分离氧化膜 1040 上，经栅绝缘膜

1042b 形成栅电极 1043b。在栅电极 1043b 上形成氮化硅膜 1044b。  
在栅电极 1043b 和氮化硅膜 1044b 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁  
1046c、1046d。在侧壁 1046c、1046d 和氮化硅膜 1044b 上形成非掺  
杂氧化硅膜 1047。在该非掺杂氧化硅膜 1047 上形成第 1 层间绝缘膜  
5 1048。通过用刻蚀除去第 1 层间绝缘膜 1048 和非掺杂氧化硅膜 1047  
的一部分，形成接触孔 1049。在接触孔 1049 的内部和第 1 层间绝缘  
膜 1048 上形成掺杂多晶硅膜 1052。在掺杂多晶硅膜 1052 上形成高  
熔点金属硅化物膜 1053。由该掺杂多晶硅膜 1052 和高熔点金属硅化  
物膜 1053 构成位线 1174。在高熔点金属硅化物膜 1053 上形成氮化  
10 硅膜 1054。在氮化硅膜 1054、高熔点金属硅化物膜 1053 和掺杂多晶  
硅膜 1052 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁 1055a、1055b。在第 1  
层间绝缘膜 1048、侧壁 1055a、1055b 和氮化硅膜 1054 上形成第 2  
层间绝缘膜 1037。通过除去第 1 和第 2 层间绝缘膜 1048、1037 的一  
部分，形成与电容器下部电极 1170a 和源/漏区之一进行电连接用的  
15 接触孔 1038a。在接触孔 1038a 的内部形成由掺杂多晶硅构成的栓  
1057。然后，在开口部 1038a 和第 2 层间绝缘膜 1037 上形成电容器  
下部电极 1170a。为了以少的占有面积确保电容器的电容，该电容器  
下部电极 1170a 具备圆柱形的结构。然后，在电容器下部电极 1170a  
和第 2 层间绝缘膜 1037 上形成电介质膜 1150。在电介质膜 1150 上  
20 形成电容器上部电极 1151。在电容器上部电极 1151 上形成第 3 层间  
绝缘膜 1205。

在外围电路区中，形成构成外围电路的元件、即场效应晶体管和  
布线层 1202。在半导体衬底 1001 的主表面上形成源/漏区 1201d、  
1201e。在与源/漏区 1201d、1201e 邻接的沟道区上经栅绝缘膜  
25 1042c、1042d 分别形成栅电极 1043c、1043d。在栅电极 1043c、1043d  
上形成氮化硅膜 1044c、1044d。在栅电极 1043c、1043d 和氮化硅膜  
1044c、1044d 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁 1046e~1046g。在  
半导体衬底 1001 的主表面、氮化硅膜 1044c、1044d 和侧壁 1046e~  
1046g 上形成非掺杂氧化硅膜 1047。在非掺杂氧化硅膜 1047 上形成  
30 第 1 层间绝缘膜 1048。通过除去第 1 层间绝缘膜 1048 的一部分，形  
成接触孔 1050、1051。在第 1 层间绝缘膜 1048 上和接触孔 1050、  
1051 的内部形成掺杂多晶硅膜 1052。在掺杂多晶硅膜 1052 上形成高

熔点金属硅化物膜 1053。由该掺杂多晶硅膜 1052 和高熔点金属硅化物膜 1053 形成外围电路区中的布线层 1202。在高熔点金属硅化物膜 1053 上形成氮化硅膜 1203。在氮化硅膜 1203、高熔点金属硅化物膜 1053 和掺杂多晶硅膜 1052 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁

- 5 1204a、1204b。在第 1 层间绝缘膜 1048、氮化硅膜 1203 和侧壁 1204a、1204b 上形成第 2 层间绝缘膜 1037。在第 2 层间绝缘膜 1037 上形成电容器的电介质膜 1150，该电介质膜 1150 以从存储单元区延伸的方式来形成。在该电介质膜 1150 上形成电容器上部电极 1151。在第 2 层间绝缘膜 1037 和电容器上部电极 1151 上形成第 3 层间绝缘膜
- 10 1205。

图 116 是图 115 中示出的现有的 DRAM 的存储单元区的变形例，电容器下部电极 1092 的形状成为厚膜型的。在这里，除电容器下部电极 1092 的形状以外的结构与图 115 中示出的现有的 DRAM 大致相同。

- 15 如图 115 和 116 所示，在现有的 DRAM 的存储单元区中，为了既进行高集成化和微细化又同时确保电容器的电容，形成电容器下部电极 1170a 使其向高度方向延伸。通过这样来形成，即使减小存储单元区中的电容器下部电极 1170a 的占有面积，也能确保对电容器所要求的电容。但是，由于存储单元区中的电容器下部电极 1170a 的结构向高度方向延伸，存储单元区中的第 3 层间绝缘膜 1205 的上部表面的高度与外围电路区中的第 3 层间绝缘膜 1205 的上部表面的高度的差变大。而且，在该第 3 层间绝缘膜 1205 上通常形成由铝等构成的布线层。而且，由于在形成该布线层用的光刻加工中，在存储单元区和外围电路区之间在第 3 层间绝缘膜 1205 的上部表面上有台阶差，故存在不能取得光刻时的焦点裕量的问题。这样，由于不能取得光刻加工时的焦点裕量，在第 3 层间绝缘膜 1205 上形成的布线的图形变得不清晰，由此，产生该布线的断线、短路这样的问题。结果，产生半导体装置的可靠性降低的问题。
- 20
- 25

- 此外，在现有的 DRAM 的外围电路区中，如图 117 所示，为了电连接外围电路区中的布线 1202 及电容器上部电极 1151 与在第 3 层间绝缘膜 1205 上形成的铝等构成的布线层（图中未示出），分别形成接触孔 1144、1135。该接触孔 1144 和 1135 通常在相同的刻蚀工序中同时形成，但由于形成电容器上部电极 1151 和外围电路区中的布线
- 30

1202 的深度方向的位置不同，在接触孔 1135 的底部，电容器上部电极 1151 被过刻蚀，直到接触孔 1114 到达布线 1202 为止。结果，如图 117 所示，存在接触孔 1135 穿过电容器上部电极 1151 和电介质膜 1150 的情况。而且，还存在外围电路区中的布线层 1202 和它的场效应晶体管等元件因用于形成接触孔 1135 的刻蚀而受到损伤的情况。结果，产生半导体装置的可靠性降低的问题，如半导体装置不能稳定地工作或发生误操作。

本发明的一个目的是提供这样一种半导体装置，该半导体装置能在谋求高集成化的同时确保电容器的电容，而且具有高的可靠性。

本发明的另一个目的是提供这样一种半导体装置的制造方法，该半导体装置能在谋求高集成化的同时确保电容器的电容，而且具有高的可靠性。

本发明的第 1 方面所述的半导体装置是包含存储单元区和外围电路区的半导体装置，具备：在半导体衬底的主表面上形成的绝缘膜；电容器下部电极；电介质膜；以及电容器上部电极。在上述半导体衬底的主表面上形成具有上部表面的上述绝缘膜，使其从上述存储单元区延伸到上述外围电路区。在上述存储单元区内形成上述电容器下部电极，使其在上述半导体衬底的主表面上延伸到上述绝缘膜的上部表面的上方。在上述电容器下部电极上介入上述电介质膜形成上述电容器上部电极，使其延伸到上述绝缘膜的上部表面上。上述电容器下部电极包含相对于电容器上部电极向上方延伸并具有顶面和底面的电容器下部电极部分。上述绝缘膜的上部表面位于上述电容器下部电极部分的顶面和底面之间。

因此，上述电容器下部电极成为部分地埋入上述绝缘膜中的状态。其结果，与以往相比，可减小从上述存储单元区延伸到上述外围电路区的上述绝缘膜的上部表面与上述存储单元区中的上述电容器下部电极部分的顶面的台阶差。由此，即使在上述电容器下部电极上和上述绝缘膜上形成层间绝缘膜的情况下，也可在上述存储单元区和上述外围电路区之间减小上述层间绝缘膜的上部表面内的台阶差。其结果，在上述绝缘膜上利用光刻形成布线层的情况下，也可防止起因于上述层间绝缘膜的上部表面的上述台阶差而产生上述布线层的图形变得不清晰的问题。因此，可防止由于上述布线层的图形不清晰而

产生上述布线层的断线、短路的问题。其结果，可得到这样一种半导体装置，该半导体装置能在谋求高集成化的同时确保电容器的电容，而且具有高的可靠性。

此外，由于上述电容器下部电极成为部分地埋入上述绝缘膜中的状态，可在位于上述电容器下部电极部分的顶面与上述绝缘膜的上部表面之间的上述电容器下部电极部分的外部侧面上介入上述电介质膜形成上述电容器上部电极。由此，由于也能利用上述电容器下部电极部分的外部侧面作为电容器，故可增加电容器的电容。

此外，通过改变上述绝缘膜的上部表面的位置，可改变能作为电容器来利用的上述电容器下部电极部分的外部侧面的面积。由此，不改变上述电容器下部电极的形状，就可改变电容器的电容。

在本发明的第1方面所述的半导体装置的结构中，上述电容器下部电极也可包含第1和第2电容器下部电极。也可在上述存储单元区内形成上述第1和第2电容器下部电极，使其经上述绝缘膜的一部分而互相邻接。上述绝缘膜的一部分可具有比用光刻加工能形成的最小加工尺寸小的宽度。因此，与以往相比，可减小第1和第2电容器下部电极之间的距离。其结果，可实现半导体装置的更高的集成化。

在上述本发明的第1方面所述的半导体装置的结构中，也可具备在位于上述绝缘膜的上部表面之上的上述电容器下部电极的侧面形成的侧壁电极部。因此，与以往相比，可增大上述电容器下部电极的侧面的表面积。由此，可增大电容器的电容。因此，与以往相比，既可确保一定的电容器电容，又可减小上述电容器下部电极的占有面积。其结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

在上述本发明的第1方面所述的半导体装置的结构中，也可具备第1布线层和第1层间绝缘膜。可在位于上述电容器下部电极下的区域内，在上述半导体衬底的主表面上形成上述第1布线层。可在上述第1布线层上形成上述第1层间绝缘膜，使其与上述第1布线层和上述电容器下部电极部分接触。因此，与在上述第1布线层与上述第1层间绝缘膜之间形成用于保护上述第1布线层的保护绝缘膜的情况相比，可削减在存储单元区中形成的层的数目。因此，可降低在上述存储单元区中的上述电容器下部电极部分的顶面的高度。由此，即使在上述电容器下部电极上和上述绝缘膜上形成层间绝缘膜的情况

下,也可减小在上述存储单元区和上述外围电路区之间的上述层间绝缘膜的上部表面内的台阶差。其结果,在上述绝缘膜上利用光刻加工形成布线层的情况下,也可防止起因于上述层间绝缘膜的上部表面的台阶差而产生上述布线层的图形变得不清晰等的问题。因此,可更有效地防止由于上述布线层的图形不清晰而产生上述布线层的断线、短路的问题。

在上述本发明的第1方面所述的半导体装置的结构中,也可具备:第1导电区;第2层间绝缘膜;第2布线层;以及连接导电体膜。可在位于上述电容器下部电极下的区域内,在上述半导体衬底的主表面中形成上述第1导电区。上述第2层间绝缘膜可在上述第1导电区上形成,具有使该第1导电区的表面露出的第1接触孔。可在上述第2层间绝缘膜上形成上述第2布线层。可在上述第1接触孔内形成上述连接导电体膜,以便使上述第1导电区和上述第2布线层进行电连接。上述第2布线层可具有比上述第1接触孔的宽度小的宽度。

因此,与以往那样的将上述第2布线层的宽度作成完全覆盖上述第1接触孔的大小的情况相比,可实现半导体装置的微细化。

在上述本发明的第1方面所述的半导体装置的结构中,也可具备:第2导电区;第3层间绝缘膜;第3布线层;布线保护膜;以及导电体膜。可在位于上述电容器下部电极下的区域内,在上述半导体衬底的主表面上形成上述第2导电区。上述第3层间绝缘膜可在上述第2导电区上形成,具有使该第2导电区的表面露出的第2接触孔。可在上述第2接触孔的内部形成上述导电体膜,以便使上述第2导电区和上述电容器下部电极进行电连接。上述布线保护膜可与上述电容器下部电极或上述导电体膜接触。

由此,在半导体装置的制造工序中,可利用上述布线保护膜作为形成上述第2接触孔时的刻蚀用的掩模。因此,不需要为了形成上述第2接触孔而独立地形成作为掩模使用的抗蚀剂图形的工序,可削减半导体装置的制造工序的数目。

在上述本发明的第1方面所述的半导体装置的结构中,也可具备第4层间绝缘膜和外围电路元件保护膜。可形成上述电容器上部电极,使其延伸到上述外围电路区。上述第4层间绝缘膜可在上述电容器上部电极形成的,具有使该上述电容器上部电极的表面露出的第3

接触孔。可在位于上述第 3 接触孔下的区域内，在上述绝缘膜下形成上述外围电路元件保护膜。

由此，在用刻蚀形成上述第 3 接触孔时，即使在上述第 3 接触孔穿过上述电容器上部电极到达上述绝缘膜的情况下，也可在上述外围电路元件保护膜中阻止刻蚀的进行。因此，可防止在上述外围电路区中的场效应晶体管及布线等的外围电路元件因用于形成上述第 3 接触孔的刻蚀而受到损伤的情况。由此，可防止起因于上述外围电路区的元件的损伤而引起半导体装置工作不良的情况。其结果，可得到可靠性高的半导体装置。

在上述本发明的第 1 方面所述的半导体装置的结构中，也可具有外围电路绝缘膜和第 4 层间绝缘膜。上述外围电路绝缘膜在外围电路区内具有外围电路区开口部。可这样来形成上述电容器上部电极，使其延伸到上述外围电路开口部的内部。上述第 4 层间绝缘膜可在上述外围电路区开口部上形成，具有使上述电容器上部电极的表面露出的第 4 接触孔。

因此，通过调整上述外围电路开口部的深度和上述电容器上部电极的膜厚，可改变上述第 4 接触孔的到达深度，以便减小与上述外围电路区开口部中的其它接触孔的到达深度的差。由此，可防止起因于上述第 4 接触孔与外围电路区开口部中的上述其它接触孔的到达深度的不同，第 4 接触孔穿过上述电容器上部电极从而使场效应晶体管及布线层等的外围电路元件受到损伤的情况。由此，可防止起因于上述外围电路元件的损伤而引起半导体装置的误操作等的工作不良的情况。其结果，可得到可靠性高的半导体装置。

在上述本发明的第 1 方面所述的半导体装置的结构中，也可具有第 4 层间绝缘膜和外围电路元件。可形成上述电容器上部电极，使其延伸到上述外围电路区中。上述第 4 层间绝缘膜可在上述电容器上部电极上形成的，具有使该电容器上部电极的表面露出的第 5 接触孔。可在上述外围电路区中，在上述绝缘膜下形成上述外围电路元件。可在与上述外围电路元件平面上不重叠的区域内形成上述第 5 接触孔。

因此，在进行用于形成上述第 5 接触孔的刻蚀时，即使进行上述刻蚀并穿过上述电容器上部电极，也可防止上述外围电路元件因上述



刻蚀而受到损伤。由此，可防止起因于上述外围电路区的元件的损伤而引起半导体装置的误操作等的工作不良的情况。其结果，可得到可靠性高的半导体装置。

5 本发明的第2方面所述的半导体装置是包含存储单元区和外围电路区的半导体装置，具备：具有主表面的半导体衬底；绝缘膜；电容器下部电极；电介质膜；以及电容器上部电极。在上述半导体衬底的主表面上形成上述绝缘膜，使其从上述存储单元区延伸到上述外围电路区。在上述存储单元区内形成包含第1和第2电容器下部电极的上述电容器下部电极，使其在上述半导体衬底的主表面上延伸到与上述  
10 绝缘膜的上部表面大致相同的高度。上述第1和第2电容器下部电极经上述绝缘膜的一部分而邻接。形成上述电容器上部电极，使其在上述电容器下部电极上介入上述电介质膜延伸到上述绝缘膜的上部表面上。上述电容器下部电极包含相对于上述电容器上部电极向上方延伸并具有顶面和底面的电容器下部电极部分。上述绝缘膜的一部分具  
15 有比用光刻加工能形成最小加工尺寸小的宽度。

由此，成为整个上述电容器下部电极埋入于上述绝缘膜中的状态。因此，可防止在上述存储单元区和上述外围电路区上形成的上述绝缘膜的上部表面内产生起因于上述电容器下部电极的台阶差。因此，即使在上述电容器下部电极部分上和上述绝缘膜上形成层间绝缘  
20 膜的情况下，也可防止在上述存储单元区和上述外围电路区之间产生上述层间绝缘膜的上部表面内的台阶差。其结果，在上述层间绝缘膜上利用光刻加工形成布线层的情况下，也可防止起因于上述层间绝缘膜的上部表面的上述台阶差而产生上述布线层的图形变得不清晰的问题。因此，可防止由于上述布线层的图形不清晰而产生上述布线层  
25 的断线、短路的问题。其结果，可得到这样一种半导体装置，该半导体装置能在谋求高集成化的同时确保电容器的电容，而且具有高的可靠性。

此外，由于在上述第1和第2电容器下部电极之间存在的上述绝缘膜的一部分的宽度比用光刻加工能形成的最小加工尺寸小，故与以往相比可减小上述第1和第2电容器下部电极之间的距离。其结果，  
30 可实现半导体装置的更高的集成化。

在上述本发明的第2方面所述的半导体装置的结构中，上述电容

器下部电极的侧面可具有弯曲面。

因此，与现有的电容器下部电极那样其侧面是平面的情况相比，可增大上述电容器下部电极的侧面的表面积。因此，既可确保一定的电容器电容，又可进一步减小电容器的占有面积。其结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

在上述本发明的第2方面所述的半导体装置的结构中，上述绝缘膜可包含刻蚀率各不相同的上部绝缘膜和下部绝缘膜。

因此，在下面所述的制造工序中，在进行利用刻蚀使上述绝缘膜的一部分的宽度比用光刻加工能形成的最小加工尺寸小的工序时，通过使用有选择地除去上述下部绝缘膜的刻蚀条件，可利用刻蚀只除去上述绝缘膜的一部分中的下部绝缘膜的侧面的一部分。因此，能减小上述绝缘膜的一部分的宽度，同时能几乎不刻蚀上述上部绝缘膜而使其留下来。由此，在减小上述绝缘膜的一部分的宽度的刻蚀工序中，可防止由于刻蚀而除去上述上部绝缘膜的上部表面。其结果，可防止在其后的工序中形成的上述电容器下部电极的侧面高度的降低。其结果，可防止上述电容器下部电极的表面积的减少，可防止电容器的电容降低。

上述本发明的第1或第2方面所述的半导体装置的结构中，可具备在上述电容器下部电极部分的侧面和底面的仅一部分的至少一个与上述绝缘膜之间形成的上述电介质膜。由此，可将上述电容器下部电极部分的侧面或底面的一部分作为电容器来利用。因此，不改变上述电容器下部电极的形状，就可增大电容器的电容。

此外，在该半导体装置的制造工序中，由于在上述电容器下部电极部分的侧面和底面的仅一部分的至少一个与上述绝缘膜之间形成上述电介质膜，故在形成上述电介质膜的区域内形成空隙。而且，在形成上述空隙的工序中，可保持上述电容器下部电极部分的底面的另一部分与另外的绝缘膜等的层接触的状态。因此，在形成上述空隙的状态下，在清洗形成了该半导体装置的上述半导体衬底那样的情况下，与上述电容器下部电极部分的底面的另一部分接触的上述绝缘膜等起到对于物理冲击的增强部件的作用。由此，可防止产生因上述清洗工序等中的振动等的冲击，上述电容器下部电极的一部分受到损坏的那样的问题。其结果，可防止因上述电容器下部电极的局部的损坏

等的不良引起的上述半导体装置的误操作，可得到具有高的可靠性的半导体装置。

上述本发明的第1或第2方面所述的半导体装置的结构中，可在上述电容器下部电极的表面或上述侧壁电极部表面的至少一部分上具备粒状结晶。因此，可在不增大上述电容器下部电极的占有面积的情况下增大上述电容器下部电极的表面积。由此，可增大电容器的电容。因此，既可确保电容器的电容，又可比以往减小上述电容器下部电极的占有面积。结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

本发明的第3方面所述的半导体装置的制造方法是包含存储单元区和外围电路区的半导体装置的制造方法，首先在半导体衬底的主表面上形成具有上部表面的绝缘膜，使其从上述存储单元区延伸到上述外围电路区。其次，在上述存储单元区内通过用刻蚀除去上述绝缘膜的一部分来形成开口部。其次，在半导体衬底的主表面上，在上述开口部的内部形成电容器下部电极。其次，在上述电容器下部电极上经电介质膜形成电容器上部电极，使其延伸到上述绝缘膜的上部表面上。形成上述电容器下部电极的工序包含形成相对于上述电容器上部电极向上方延伸并具有顶面和底面的电容器下部电极部分的工序。形成上述绝缘膜的工序包含使上述绝缘膜的上部表面的位置位于上述电容器下部电极部分的顶面和底面之间的工序。

这样，可使上述电容器下部电极处于部分地埋入于上述绝缘膜中的状态。因此，与以往相比，可减小从上述存储单元区延伸到上述外围电路区的上述绝缘膜的上部表面与上述存储单元区中的上述电容器下部电极部分的顶面的台阶差。因此，即使在上述电容器下部电极部分上和上述绝缘膜上形成层间绝缘膜的情况下，也可在上述存储单元区和上述外围电路区之间减小上述层间绝缘膜的上部表面内的台阶差。其结果，在上述层间绝缘膜上利用光刻加工形成布线层的情况下，也可防止起因于上述层间绝缘膜的上部表面的台阶差而产生上述布线层的图形变得不清晰的问题。因此，可防止由于上述布线层的图形不清晰而产生上述布线层的断线、短路的问题。其结果，可得到这样一种半导体装置，该半导体装置能在谋求高集成化的同时确保电容器的电容，而且具有高的可靠性。

此外，由于使上述电容器下部电极处于部分地埋入于上述绝缘膜

中的状态，故可在位于上述电容器下部电极部分的顶面与上述绝缘膜的上部表面之间的上述电容器下部电极部分的外部侧面上介入上述电介质膜形成上述电容器上部电极。由此，由于可将上述电容器下部电极部分的外部侧面作为电容器来利用，故可增加电容器的电容。

- 5 此外，通过改变上述绝缘膜的上部表面的位置，可改变作为电容器利用的上述电容器下部电极部分的外部侧面的面积。由此，可在不改变上述电容器下部电极的形状的情况下控制电容器的电容。

在上述本发明的第3方面所述的半导体装置的制造方法的构成中，形成上述绝缘膜的工序可包含形成下部绝缘膜的工序和在上述下部绝缘膜上形成与上述下部绝缘膜的刻蚀率不同的上部绝缘膜的工  
10 序。使上述绝缘膜的上部表面位于上述电容器下部电极部分的顶面和底面之间的工序可包含除去上述上部绝缘膜的工序。

因此，通过改变上述上部绝缘膜的膜厚，可任意地改变上述绝缘膜的上部表面的位置。因此，可改变作为电容器利用的上述电容器下部电极部分的外部侧面的面积。其结果，可在不改变上述电容器下部  
15 电极的形状的情况下改变电容器的电容。

在上述本发明的第3方面所述的半导体装置的制造方法的构成中，使上述绝缘膜的上部表面位于上述电容器下部电极部分的顶面和底面之间的工序可包含用刻蚀除去上述绝缘膜的一部分的工序。

- 20 因此，在用刻蚀除去上述绝缘膜的一部分的工序中，通过改变利用该刻蚀除去的上述绝缘膜的一部分的膜厚，可任意地改变上述绝缘膜的上部表面的位置。由此，可改变作为电容器利用的上述电容器下部电极部分的外部侧面的面积。其结果，可在不改变上述电容器下部电极的形状的情况下改变电容器的电容。

- 25 在上述本发明的第3方面所述的半导体装置的制造方法的构成中，可在位于上述电容器下部电极下的区域内，在上述半导体衬底的主表面中形成导电区。其次，可在上述导电区上形成层间绝缘膜。可在上述层间绝缘膜上形成布线层。可在上述布线层上形成布线保护膜。为了对上述导电区和上述电容器下部电极进行电连接，可通过用  
30 刻蚀至少除去上述层间绝缘膜的一部分来形成接触孔。可使用上述布线保护膜作为形成上述接触孔的工序的刻蚀中使用的掩模的一部分。

这样，可省略为了形成上述接触孔而独立地形成作为掩模使用的抗蚀剂图形的工序。由此，可削减半导体装置的制造工序的数目。

图 1 是本发明的实施例 1 的 DRAM 的存储单元区的平面示意图。

5 图 2 是本发明的实施例 1 的 DRAM 的存储单元区和外围电路区的剖面图。

图 3 至图 13 是用于说明图 2 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序的第 1 至第 11 工序的剖面图。

图 14 至图 15 是用于说明图 2 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序的变形例的第 1 至第 2 工序的剖面图。

10 图 16 是用于说明本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 1 变形例的剖面图。

图 17 是用于说明本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 2 变形例的剖面图。

15 图 18 至图 20 是用于说明图 17 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序的第 1 至第 3 工序的剖面图。

图 21 是用于说明本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 3 变形例的剖面图。

图 22 至图 24 是用于说明图 21 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 3 变形例的制造工序的第 1 至第 3 工序的剖面图。

20 图 25 是用于说明本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 4 变形例的剖面图。

图 26 是用于说明图 25 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 4 变形例的制造工序的第 1 工序的剖面图。

图 27 是用于说明本发明的实施例 2 的 DRAM 的剖面图。

25 图 28 至图 29 是用于说明图 27 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的制造工序的第 1 至第 2 工序的剖面图。

图 30 是用于说明本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 1 变形例的剖面图。

30 图 31 至图 32 是用于说明图 30 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序的第 1 至第 2 工序的剖面图。

图 33 是用于说明本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 2 变形例的剖面图。

图 34 是用于说明图 33 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序的第 1 工序的剖面图。

图 35 是用于说明本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 3 变形例的剖面图。

5 图 36 是用于说明图 35 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 3 变形例的制造工序的第 1 工序的剖面图。

图 37 是用于说明本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 4 变形例的剖面图。

10 图 38 是用于说明图 37 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 4 变形例的制造工序的第 1 工序的剖面图。

图 39 是用于说明本发明的实施例 3 的 DRAM 的剖面图。

图 40 至图 42 是用于说明图 39 中示出的本发明的实施例 3 的 DRAM 的制造工序的第 1 至第 3 工序的剖面图。

15 图 43 是用于说明本发明的实施例 3 的 DRAM 的第 1 变形例的剖面图。

图 44 至图 46 是用于说明图 43 中示出的本发明的实施例 3 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序的第 1 至第 3 工序的剖面图。

图 47 是用于说明本发明的实施例 3 的 DRAM 的第 2 变形例的剖面图。

20 图 48 至图 49 是用于说明图 47 中示出的本发明的实施例 3 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序的第 1 至第 2 工序的剖面图。

图 50 是用于说明本发明的实施例 4 的 DRAM 的结构剖面图。

图 51 至图 55 是用于说明图 50 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的制造工序的第 1 至第 5 工序的剖面图。

25 图 56 是用于说明本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 1 变形例的剖面图。

图 57 是用于说明图 56 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序的第 1 工序的剖面图。

30 图 58 是用于说明本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 2 变形例的剖面图。

图 59 是用于说明图 58 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序的第 1 工序的剖面图。

图 60 是用于说明本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 3 变形例的剖面图。

图 61 至图 63 是用于说明图 60 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 3 变形例的制造工序的第 1 至第 3 工序的剖面图。

5 图 64 是用于说明本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 4 变形例的剖面图。

图 65 是用于说明图 64 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 4 变形例的制造工序的第 1 工序的剖面图。

图 66 是用于说明本发明的实施例 5 的 DRAM 的结构剖面图。

10 图 67 至图 69 是用于说明图 66 中示出的本发明的实施例 5 的 DRAM 的制造工序的第 1 至第 3 工序的剖面图。

图 70 是用于说明本发明的实施例 5 的 DRAM 的变形例的制造工序的剖面图。

15 图 71 是用于说明图 70 中示出的本发明的实施例 5 的 DRAM 的变形例的第 1 工序的剖面图。

图 72 是用于说明本发明的实施例 6 的 DRAM 的结构剖面图。

图 73 至图 77 是用于说明图 72 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的制造工序的第 1 至第 5 工序的剖面图。

图 78 是示出本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 1 变形例的剖面图。

20 图 79 是示出本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 2 变形例的剖面图。

图 80 是用于说明图 79 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序的第 1 工序的剖面图。

图 81 是示出本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 3 变形例的剖面图。

图 82 是示出本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 4 变形例的剖面图。

25 图 83 是示出本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 5 变形例的剖面图。

图 84 是示出本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 6 变形例的剖面图。

图 85 是示出本发明的实施例 7 的 DRAM 的存储单元的平面示意图。

图 86 是本发明的实施例 7 的 DRAM 的剖面图。

30 图 87 是示出本发明的实施例 7 的 DRAM 的变形例的剖面图。

图 88 是示出本发明的实施例 8 的 DRAM 的剖面图。

图 89 是示出本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 1 变形例的剖面图。

图 90 是示出本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 2 变形例的剖面图。

图 91 是示出本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 3 变形例的剖面图。

图 92 是示出本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 1 变形例的剖面图。

5 图 93 至 96 是用于说明图 92 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 1 变形例的制造工序的第 1 至第 4 工序的剖面图。

图 97 至 100 是用于说明图 92 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 1 变形例的制造工序的变形例的第 1 至第 4 工序的剖面图。

10 图 101 是示出本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 2 变形例的剖面图。

图 102 至 104 是用于说明图 101 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 2 变形例的制造工序的第 1 至第 3 工序的剖面图。

15 图 105 是示出本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 3 变形例的剖面图。

图 106 是示出本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 4 变形例的剖面图。

图 107 是示出本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 5 变形例的剖面图。

20 图 108 至 112 是用于说明图 107 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 5 变形例的制造工序的第 1 至第 5 工序的剖面图。

图 113 是示出本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 6 变形例的剖面图。

图 114 是现有的 DRAM 的存储单元区的平面示意图。

25 图 115 是现有的 DRAM 的剖面图。

图 116 是现有的另一个例子的 DRAM 的剖面图。

图 117 是示出在现有的 DRAM 的外围电路区中接触孔穿过电容器上部电极的状态的剖面图。

图 118 是现有的布线的剖面图。

30 图 119 至 120 是用于说明图 118 中示出的现有的布线的制造工序的第 1 至第 2 工序的剖面图。

图 121 是示出现有的另一个例子的布线的剖面图。



图 122 至 124 是用于说明图 121 中示出的现有的另一个例子的布线的制造工序的第 1 至第 3 工序的剖面图。

以下根据附图说明本发明的实施例。

(实施例 1)

5 参照图 1, 本发明的实施例 1 的 DRAM 的存储单元区包含: 在半导体衬底的主表面上形成的有源区 39; 在半导体衬底的主表面上形成的、也起到场效应晶体管的栅电极的作用的字线 43a、43b、43e、43f; 位线 174; 以及包含电容器下部电极 170a、170b 的电容器。位线 174 在接触孔 49 中与有源区 39 进行电连接。电容器下部电极 170a、170b  
10 在接触孔 38a、38b 中与有源区 39 进行电连接。而且, 在图 2 中示出该存储单元区的沿 500-500 线的剖面图。

参照图 2, 说明本发明的实施例 1 的 DRAM 的结构。

参照图 2, 在本发明的实施例 1 的 DRAM 的存储单元区中, 在被槽分离氧化膜 40 包围的有源区 39 中形成场效应晶体管的源/漏区  
15 201a~201c。在该一对源/漏区 201a、201b 夹住的沟道区上, 经栅绝缘膜 42a 形成栅电极 43a。这里, 栅绝缘膜 42a 由热氧化膜、氮化硅膜或氮化氧化膜等构成。此外, 栅电极 43a 可由掺磷或砷的多晶硅或非晶硅, 或钨或钛等的高熔点金属膜、或这些硅化物膜构成, 此外, 也可以是重叠了这些材料的多层结构。在栅电极 43a 上形成氮化  
20 硅膜 44a。在栅电极 43a 和氮化硅膜 44a 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁 46a、46b。在侧壁 46a 和氮化硅膜 44a 上形成非掺杂氧化硅膜 47。

在槽分离氧化膜 40 上, 经栅绝缘膜 42b 形成栅电极 43b。在栅电极 43b 上形成氮化硅膜 44b。在栅电极 43b 和氮化硅膜 44b 的侧面形  
25 成由氮化硅膜构成的侧壁 46c、46d。在侧壁 46d 和氮化硅膜 44b 上形成非掺杂氧化硅膜 47。在该非掺杂氧化硅膜 47 上形成第 1 层间绝缘膜 48。通过用刻蚀除去第 1 层间绝缘膜 48 和非掺杂氧化硅膜 47 的一部分, 形成接触孔 49。在接触孔 49 的内部和第 1 层间绝缘膜 48 上形成掺杂多晶硅膜 52。在掺杂多晶硅膜 52 上形成高熔点金属硅化物膜 53。由该掺杂多晶硅膜 52 和高熔点金属硅化物膜 53 构成位线  
30 174。在高熔点金属硅化物膜 53 上形成氮化硅膜 54。在氮化硅膜 54、高熔点金属硅化物膜 53 和掺杂多晶硅膜 52 的侧面形成由氮化硅膜构

成的侧壁 55a、55b。在第 1 层间绝缘膜 48、侧壁 55a、55b 和氮化硅膜 54 上形成第 2 层间绝缘膜 37。

通过除去第 1 和第 2 层间绝缘膜 48、37 和非掺杂氧化硅膜 47 的一部分，形成与电容器下部电极 170a 和源/漏区之一进行电连接用的接触孔 38a。在接触孔 38a 的内部形成由掺杂多晶硅构成的栓 57。在第 2 层间绝缘膜 37 上形成氮化硅膜 58。然后，在栓 57 和第 2 层间绝缘膜 37 上形成电容器下部电极 170a。为了以少的占有面积确保电容器的电容，该电容器下部电极 170a 具备圆柱形的结构。在氮化硅膜 58 上和电容器下部电极 170a 的侧面上形成第 3 层间绝缘膜 59。

然后，形成该第 3 层间绝缘膜 59 的上部表面，使其位于圆柱状的电容器下部电极 170a 的侧面部、即电容器下部电极部分的顶面 301 和底面 302 之间。在电容器下部电极 170a 和第 3 层间绝缘膜 59 上形成电介质膜 150。在电介质膜 150 上形成电容器上部电极 151。在电容器上部电极 151 上形成第 4 层间绝缘膜 205。

在本发明的实施例 1 的 DRAM 的外围电路区中，在半导体衬底 1 的主表面上形成场效应晶体管和布线层 202。具体地说，在半导体衬底 1 的主表面上形成源/漏区 201d、201e。在与源/漏区 201d、201e 邻接的沟道区上经栅绝缘膜 42c、42d 分别形成栅电极 43c、43d。在栅电极 43c、43d 上形成氮化硅膜 44c、44d。在栅电极 43c、43d 和氮化硅膜 44c、44d 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁 46e~46g。在半导体衬底 1 的主表面、氮化硅膜 44c、44d 和侧壁 46e~46g 上形成非掺杂氧化硅膜 47。在非掺杂氧化硅膜 47 上形成第 1 层间绝缘膜 48。通过除去第 1 层间绝缘膜 48、非掺杂氧化硅膜 47 和氮化硅膜 44c 的一部分，形成接触孔 50、51。在第 1 层间绝缘膜 48 上和接触孔 50、51 的内部形成掺杂多晶硅膜 52。在掺杂多晶硅膜 52 上形成高熔点金属硅化物膜 53。由该掺杂多晶硅膜 52 和高熔点金属硅化物膜 53 形成外围电路区中的布线层 202。

在高熔点金属硅化物膜 53 上形成氮化硅膜 203。在氮化硅膜 203 和布线层 202 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁 204a、204b。在第 1 层间绝缘膜 48、氮化硅膜 203 和侧壁 204a、204b 上形成第 2 层间绝缘膜 37。在第 2 层间绝缘膜 37 上形成氮化硅膜 58。在氮化硅膜 58 上形成第 3 层间绝缘膜 59。在第 3 层间绝缘膜 59 上形成电容器的电

介质膜 150, 该电介质膜 150 以从存储单元区延伸的方式来形成。在该电介质膜 150 上形成电容器上部电极 151。在第 3 层间绝缘膜 59 上和电容器上部电极 151 上以从存储单元区延伸的方式形成第 4 层间绝缘膜 205。

5 这样, 在本发明的实施例 1 的 DRAM 中, 电容器下部电极 170a 变成部分地埋入于第 3 层间绝缘膜 59 中的状态。因此, 可减小第 3 层间绝缘膜 59 的上部表面与电容器下部电极 170a 的顶面 301 的台阶差。因此, 即使在形成该第 4 层间绝缘膜 205 的情况下, 与以往相比也可减小第 4 层间绝缘膜 205 的存储单元区中的上部表面与外围电路  
10 区中的上部表面的台阶差。因此, 在第 4 层间绝缘膜 205 上用光刻加工形成由铝等构成的布线层的情况下, 也可防止起因于第 4 层间绝缘膜 205 的上部表面的台阶差而产生该布线层的图形变得不清晰的情况。因此, 可防止由于上述布线层的图形不清晰而产生上述布线层的断线、短路的问题。其结果, 可得到这样一种半导体装置, 该半导体  
15 装置能在谋求高集成化的同时确保电容器的电容, 而且具有高的可靠性。

此外, 由于在本发明的实施例 1 的 DRAM 中电容器下部电极 170a 变成部分地埋入于第 3 层间绝缘膜 59 中的状态, 故在电容器下部电极 170a 的外部侧面上也可形成电介质膜 150 和电容器上部电极  
20 151。因此, 由于也可将电容器下部电极 170a 的外部侧面作为电容器来利用, 故可增加电容器的电容。

此外, 通过改变第 3 层间绝缘膜 59 的上部表面的位置, 可改变作为电容器利用的上述电容器下部电极 170a 的外部侧面的面积。由此, 可在不改变上述电容器下部电极 170a 的形状的情况下改变电容  
25 器的电容。

以下, 参照图 3~13, 说明本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序。

参照图 3, 在本发明的实施例 1 的 DRAM 的存储单元区中, 在半导体衬底 1 的主表面上形成槽分离氧化膜 40。在半导体衬底 1 的主表面上形成成为栅绝缘膜的绝缘膜 (图中未示出)。在该绝缘膜上形成  
30 多晶硅膜 (图中未示出)。在该多晶硅膜上形成氮化硅膜 (图中未示出)。在该氮化硅膜上形成抗蚀剂图形 (图中未示出) 后, 以该抗蚀剂图形为掩模, 利用各向异性刻蚀除去上述绝缘膜、掺杂多晶硅膜和

氮化硅膜的一部分。其后，除去抗蚀剂图形。通过这样做，形成图 3 中示出的栅绝缘膜 42a、42b 和栅电极 43a、43b 和氮化硅膜 44a、44b。然后，以该氮化硅膜 44a、44b 为掩模，在半导体衬底 1 的有源区 39 中注入杂质，由此形成场效应晶体管的源/漏区 201a~201c。其后，  
5 在 900℃ 以下的干的气氛中对半导体衬底的整个面进行氧化。由此，在氮化硅膜 44a、44b 上和栅电极 43a、43b 的侧面上和在半导体衬底 1 的主表面上形成具有约 50~100 埃的膜厚的氧化膜(图中未示出)。其后，形成氮化硅膜 45，使其覆盖整个面。

然后，在外围电路区中也通过与存储单元区中进行的制造工序同  
10 样的工序，在半导体衬底 1 上形成场效应晶体管的源/漏区 201d、201e、栅绝缘膜 42c、42d、栅电极 43c、43d 和氮化硅膜 42c、42d、45。

其次，通过用各向异性刻蚀除去氮化硅膜 45 的一部分，在氮化硅膜 44a~44d、栅电极 43a~43d 和栅绝缘膜 42a~42d 的侧面上形成  
15 侧壁 46a~46g。然后，如图 4 所示，形成非掺杂氧化硅膜 47，以便覆盖全部表面。在非掺杂氧化硅膜 47 上形成由掺磷的氧化硅膜构成的第 1 层间绝缘膜 48。使用减压或常压 CVD 法形成该非掺杂氧化硅膜 47 和由掺磷的氧化硅膜构成的第 1 层间绝缘膜 48。此外，这里形成了非掺杂氧化硅膜 47 和由掺磷的氧化硅膜构成的第 1 层间绝缘膜  
20 48 的 2 层，但也可用任一种材料形成第 1 层间绝缘膜。然后，在形成了第 1 层间绝缘膜 48 后，利用化学机械研磨法 (CMP 法) 或回流 (reflow) 法使该第 1 层间绝缘膜 48 的表面平坦化。

其次，在第 1 层间绝缘膜 48 上形成了抗蚀剂图形 (图中未示出) 后，通过以该抗蚀剂图形作为掩模使用的刻蚀，除去第 1 层间绝缘膜  
25 48 和非掺杂氧化硅膜 47 的一部分，如图 5 所示，形成接触孔 49。其后，除去抗蚀剂图形。在形成该接触孔 49 的刻蚀中，也可将在栅电极 43a 上形成的氮化硅膜 44a 和侧壁 46a 作为掩模的一部分，以自对准的方式形成接触孔 49。

其次，在外围电路区中，在第 1 层间绝缘膜 48 上形成抗蚀剂图形  
30 (图中未示出)，通过以该抗蚀剂图形为掩模，除去第 1 层间绝缘膜 48、非掺杂氧化硅膜 47 和氮化硅膜 44c 的一部分，形成如图 6 所示的接触孔 50、51。其后，除去抗蚀剂图形。

其次，在接触孔 49、50、51 的内部和第 1 层间绝缘膜 48 上形成掺杂多晶硅膜（图中未示出）。在该掺杂多晶硅膜上形成高熔点金属硅化物膜（图中未示出）。在该高熔点金属硅化物膜上形成氮化硅膜（图中未示出）。在该氮化硅膜上形成抗蚀剂图形（图中未示出）后，  
5 通过以该抗蚀剂图形为掩模，用刻蚀除去氮化硅膜、高熔点金属硅化物膜和掺杂多晶硅膜的一部分，如图 7 所示，形成构成位线 174 的掺杂多晶硅膜 52 和高熔点金属硅化物膜 53 及氮化硅膜 54。此外，以同样方式形成构成外围电路区中的布线 202 的掺杂多晶硅膜 52 和高熔点金属硅化物膜 53 及氮化硅膜 203。其后，形成了氮化硅膜（图  
10 中未示出）使其覆盖整个表面后，利用各向异性刻蚀除去该氮化硅膜的一部分，形成侧壁 55a、55b、204a、204b。通过这样做，得到图 7 所示的结构。

其次，在第 1 层间绝缘膜 48、氮化硅膜 54、203 和侧壁 55a、55b、204a、204b 上形成由掺磷氧化硅膜构成的第 2 层间绝缘膜 37（参照  
15 图 8）。在该第 2 层间绝缘膜 37 上形成了抗蚀剂图形（图中未示出）后，通过以该抗蚀剂图形为掩模使用的刻蚀，除去第 2 层间绝缘膜 37、第 1 层间绝缘膜 48 和非掺杂氧化硅膜 47 的一部分，，形成接触孔 38a（参照图 8）。在用于形成该接触孔 38a 的刻蚀中，也可使用反应性离子刻蚀法（以下称为 RIE 法）。此外，也可以侧壁 46b、46c  
20 作为掩模的一部分，以自对准方式形成接触孔 38a。其后，在接触孔 38a 的内部和第 2 层间绝缘膜 37 上使用 CVD 法形成多晶硅膜 56。关于该多晶硅膜 56，也可使用非晶硅膜。通过这样做，得到图 8 所示的结构。

然后，利用 CMP 法或干法刻蚀除去位于第 2 层间绝缘膜 37 上的多  
25 晶硅膜 56。通过这样做，得到图 9 所示的结构。

其次，形成氮化硅膜 58（参照图 10），使其覆盖整个表面。在该氮化硅膜 58 上形成由氧化硅膜构成的第 3 层间绝缘膜 59（参照图 10）。在该第 3 层间绝缘膜 59 上形成掺硼的氧化硅膜 60（参照图 10）。也可使用掺磷的氧化硅膜，来代替该掺硼的氧化硅膜 60。在掺硼的  
30 氧化硅膜 60 上形成了抗蚀剂图形（图中未示出）后，通过以该抗蚀剂图形为掩模，用刻蚀除去掺硼的氧化硅膜 60 和第 3 层间绝缘膜 59 的一部分，形成开口部 61（参照图 10）。通过磷酸溶液或干法刻蚀

除去存在于开口部 61 的底部的氮化硅膜 58 的一部分。其后，除去抗蚀剂图形。通过这样做，得到图 10 所示的结构。再有，也可在用于形成开口部 61 的刻蚀中使用 RIE 法。

其次，形成多晶硅膜 62（参照图 11），使其覆盖整个表面。也可使用非晶硅来代替该多晶硅膜 62。通过这样做，得到图 11 所示的结构。

其次，在位于开口部 61 的内部的多晶硅膜 62 上形成抗蚀剂 70（参照图 12）。其后，利用干法刻蚀除去位于掺硼的氧化硅膜 60 上的多晶硅膜 62。通过这样做，如图 12 所示，分离电容器下部电极 170a。在这里，在除去位于掺硼的氧化硅膜 60 上的多晶硅膜 62 的工序中，也可使用 CMP 法。

其次，通过使用气相 HF 除去掺硼的氧化硅膜 60，得到图 13 所示的结构。再有，在这里使用多晶硅或非晶硅作为电容器下部电极 170a 的材料，但使用 BST 或 PZT 等的高电介质膜作为电容器的电介质膜时，也可使用铂或钌等的金属、钛等的高熔点金属、氮化钛、或者由这些多层构成的膜。

其后，在电容器下部电极 170a 和第 3 层间绝缘膜 59 上形成电介质膜 150（参照图 2）。在电介质膜 150 上形成电容器上部电极 151（参照图 2）。通过在电容器上部电极 151 和第 3 层间绝缘膜 59 上形成第 4 层间绝缘膜 205（参照图 2），得到图 2 所示的结构。

参照图 14 和 15，说明本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序的变形例。

在实施了本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序的图 9 中示出的第 7 工序后，形成氮化硅膜 58（参照图 14）、第 3 层间绝缘膜 59（参照图 14）、掺硼氧化硅膜 60（参照图 14）。然后，在掺硼氧化硅膜 60 上形成多晶硅膜 141（参照图 14）。然后，在该多晶硅膜 141 上形成抗蚀剂图形（图中未示出），以该抗蚀剂图形为掩模，利用各向异性刻蚀除去多晶硅膜 141 的一部分。其后，除去抗蚀剂图形。然后，以多晶硅膜 141 为掩模，除去掺硼氧化硅膜 60 和第 3 层间绝缘膜 59 的一部分，由此形成开口部 61。然后，在开口部 61 的底部除去氮化硅膜 58，得到图 14 中示出的结构。这里，由于使用了多晶硅膜 141 那样的导电膜作为用于形成开口部 61 的刻蚀掩模，故与使用抗蚀剂

作为掩模的情况相比可形成精度更高的掩模图形。因此，可实现半导体装置的高集成化。

其后，如图 15 所示，在开口部 61 的内部和多晶硅膜 141 上形成多晶硅膜 62。而且，关于该工序以后的制造工序，实施与图 11~13 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序相同的工序。

参照图 16，本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 1 变形例基本上具备与图 2 中示出的本发明的实施例 1 相同的结构。但是，在本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 1 变形例中，在电容器下部电极 170a 的表面上形成由硅构成的粒状结晶 74。该粒状结晶 74 的形成方法是这样的，用掺磷、砷的非晶硅或非掺杂的非晶硅形成电容器下部电极 170a，通过在加热炉内将  $\text{SiH}_4$  气体作为气氛气体的一部分来利用，使硅的核附着在电容器下部电极 170a 的露出部分表面上。其后，导入  $\text{PH}_3$  气体作为气氛气体的一部分，通过在高温下进行退火形成粒状结晶 74。此外，在使用非掺杂的非晶硅作为电容器下部电极 170a 的情况下，也可在形成了粒状结晶后，使用离子注入法或气相法在电容器下部电极 170a 中导入磷、砷。这样，由于在电容器下部电极 170a 的表面上形成粒状结晶 74，故可增大电容器下部电极 170a 的表面积。由此，可增大电容器的电容。既可确保一定的电容器的电容，又可比以往减小电容器下部电极 170a 的占有面积。结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

作为该本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 1 变形例的制造方法，在实施例 1 的 DRAM 的图 13 中示出的制造工序后，在电容器下部电极 170a 的表面上使用上述方法形成粒状结晶 74。其后，通过用与实施例 1 的 DRAM 相同的工序形成电介质膜 150（参照图 16）、电容器上部电极 151（参照图 16）、第 4 层间绝缘膜 205（参照图 16），得到图 16 中示出的结构。

参照图 17，本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 2 变形例基本上具备与图 2 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 相同的结构。但是，该第 2 变形例中，在电容器下部电极 170a 的内部侧面和底面上形成了粒状结晶 74。这样，在实施例 1 的 DRAM 的第 2 变形例中，由于与图 16 中示出的第 1 变形例相同，形成了粒状结晶 74，故可增加电容器下部电极 170a 的表面积。因此，可得到与图 16 中示出的第 1 变形例相

同的效果。

以下，参照图 18~20，说明本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序。

在本发明的实施例 1 的 DRAM 的图 11 中示出的制造工序后，如图 18 所示，在多晶硅膜 62 上形成粒状结晶 74。

其后，在开口部 61 的内部的粒状结晶 74 上形成了抗蚀剂 70（参照图 19）后，使用干法刻蚀，除去位于掺硼氧化硅膜 60 上的粒状结晶 74 和多晶硅膜 62。通过这样做，得到图 19 中示出的结构。

其次，在除去抗蚀剂 70 后，使用气相 HF 除去掺硼氧化硅膜 60。通过这样做，得到图 20 中示出的结构。

其后，通过用与本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序相同的工序形成电介质膜 150（参照图 17）、电容器上部电极 151（参照图 17）、第 4 层间绝缘膜 205（参照图 17），得到图 17 中示出的结构。

参照图 21，本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 3 变形例基本上具备与图 17 中示出的第 2 变形例相同的结构。但是，在该第 3 变形例中，如下面所述的制造工序所示，通过用刻蚀等除去第 3 层间绝缘膜 77 的上部，得到图 21 中示出的结构。

以下，参照图 22~24，说明本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 3 变形例的制造工序。

首先，在实施了图 3~9 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序后，在第 2 层间绝缘膜 37（参照图 22）上形成氮化硅膜 58（参照图 22）。其后，在氮化硅膜 58 上形成第 3 层间绝缘膜 77（参照图 22）。在第 3 层间绝缘膜 77 上形成了抗蚀剂图形（图中未示出）后，通过以该抗蚀剂图形为掩模，除去第 3 层间绝缘膜 77 和氮化硅膜 58 的一部分，形成开口部 61（参照图 22）。在开口部 61 内部和第 3 层间绝缘膜 77 上形成多晶硅膜 62（参照图 22）。在多晶硅膜 62 的表面上形成粒状结晶 74（参照图 22）。通过这样做，得到图 22 中示出的结构。

其次，在开口部 61 内部的粒状结晶 74 上形成了抗蚀剂 70（参照图 23）后，用干法刻蚀除去位于第 3 层间绝缘膜 77 上的多晶硅膜 62 和粒状结晶 74。通过这样做，得到图 23 中示出的结构。

其次，在除去抗蚀剂 70 后，用 HF 水溶液除去第 3 层间绝缘膜 77



的一部分。通过这样做，得到图 24 中示出的结构。这样，由于用 HF 水溶液除去第 3 层间绝缘膜 77 的一部分，故通过控制第 3 层间绝缘膜 77 与该 HF 水溶液接触的时间，可控制第 3 层间绝缘膜 77 被除去的膜厚。由此，可改变在电容器下部电极 170a 的外部侧面露出的面积。由此，通过改变作为电容器被利用的电容器下部电极 170a 的外部侧面的面积，可控制电容器的电容。

其后，通过以与本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序相同的方式形成电介质膜 150（参照图 21）等，得到图 21 中示出的结构。

参照图 25，本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 4 变形例基本上具备与图 21 中示出的本发明的实施例 1 的第 3 变形例大致相同的结构。但是，在该第 4 变形例中，大体上除去了第 3 层间绝缘膜 77（参照图 21）。然后，通过在电容器下部电极 170a 的内部侧面上形成粒状结晶 74，降低了从电容器下部电极 170a 的从第 2 层间绝缘膜 37 的上部表面算起的高度。由此，谋求降低在存储单元区和外围电路区之间的第 4 层间绝缘膜 205 的上部表面的台阶差。

参照图 26，说明本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 4 变形例的制造工序。

在本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 4 变形例的制造工序中，在图 23 中示出的第 3 变形例的制造工序后，用刻蚀大体上全部除去第 3 层间绝缘膜 77（参照图 23）。通过这样做，得到图 26 中示出的结构。

其后，形成电介质膜 150（参照图 25）等，得到图 25 中示出的结构。

#### （实施例 2）

参照图 27，本发明的实施例 2 的 DRAM 基本上具备与图 2 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 相同的结构。但是，在该实施例 2 的 DRAM 中，电容器下部电极 92 是厚膜型的。而且，由于电容器下部电极 92 变成部分地埋入于第 3 层间绝缘膜 59 中的状态，故与以往相比可减小第 3 层间绝缘膜 59 的上部表面与电容器下部电极 92 的上部表面的台阶差。由此，与以往相比可减小存储单元区与外围电路区中第 4 层间绝缘膜 205 的上部表面的台阶差。此外，通过改变第 3 层间绝缘膜 59 的上部表面的位置，可改变作为电容器下部电极 92 的电容器起作用的表面积，由此可任意地改变电容器的电容。

以下，参照图 28 和 29，说明本发明的实施例 2 的 DRAM 的制造工序。

首先，在实施了图 3~10 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序后，如图 28 所示，在开口部 61 的内部和掺硼氧化硅膜 60 上形成多晶硅膜 91。

其次，使用干法刻蚀或 CMP 法，除去位于掺硼氧化硅膜 60 上的多晶硅膜 91。然后，使用气相 HF 除去掺硼氧化硅膜 60。通过这样做，得到图 29 中示出的结构。

其后，通过形成电介质膜 150（参照图 27）、电容器上部电极 151（参照图 27）和第 4 层间绝缘膜 205（参照图 27）等，得到图 27 中示出的结构。再有，通过与图 3~13 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的外围电路区相同的制造工序来形成外围电路区。

参照图 30，本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 1 变形例基本上具备与图 27 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 相同的结构。但是，在该第 1 变形例中，在电容器下部电极 92 的上部侧面形成了由多晶硅构成的侧壁 96、97。而且，该侧壁 96、97 的表面具有曲面状的部分。因此，与不形成该侧壁 96、97 的情况相比，可增大电容器下部电极 92 的作为电容器起作用的表面积。由此，可增大电容器的电容。既可确保电容器的电容，又可比以往减小电容器下部电极 92 的占有面积。结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

以下，参照图 31 和 32，说明本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序。

首先，在实施了图 28 和 29 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的制造工序后，如图 31 所示，在第 3 层间绝缘膜 59 上和电容器下部电极 92 上形成非晶硅膜 95。

其次，用各向异性刻蚀除去该非晶硅膜 95 的一部分，由此，如图 32 所示，形成侧壁 96、97。

其后，通过形成电介质膜 150（参照图 30）、电容器上部电极 151（参照图 30）和第 4 层间绝缘膜 205（参照图 30）等，得到图 30 中示出的结构。

参照图 33，本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 2 变形例基本上具备与图 27 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 相同的结构。但是，在该

第2变形例中，在位于电容器下部电极92比第3层绝缘膜59靠上的表面上形成了粒状结晶74。由此，可在不增大电容器下部电极92的占有面积的情况下增大上述电容器下部电极的表面积。由此，可增大电容器的电容。

5 以下，参照图34，说明本发明的实施例2的DRAM的第2变形例的制造工序。

首先，在实施了图28和29中示出的本发明的实施例2的DRAM的制造工序后，如图34所示，在电容器下部电极92的表面上形成粒状结晶74。作为该粒状结晶74的形成方法，使用与本发明的实施例1  
10 的第1变形例或第2变形例中使用的方法相同的方法。

其后，形成电介质膜150（参照图33）等，得到图33中示出的结构。

参照图35，本发明的实施例2的DRAM的第3变形例基本上具备与图30中示出的本发明的实施例2的DRAM的第1变形例相同的结构。但是，在该第3变形例中，在由非晶硅构成的侧壁96、97的表面上形成了由硅构成的粒状结晶98。因此，在该第3变形例中，在  
15 通过形成侧壁96、97增大电容器下部电极92的表面积的同时，也可利用粒状结晶98增加电容器下部电极92的表面积，由此，可进一步增大电容器的电容。

20 以下，参照图36，说明本发明的实施例2的DRAM的第3变形例的制造工序。

首先，在实施了图31和32中示出的本发明的实施例2的DRAM的第1变形例的制造工序后，通过与图33中示出的本发明的实施例2的DRAM的第2变形例中的形成粒状结晶74（参照图33）相同的工序，  
25 在侧壁96、97的表面上形成粒状结晶98。

其后，通过形成电介质膜150（参照图35）等，得到图35中示出的结构。

参照图37，本发明的实施例2的DRAM的第4变形例基本上具备与图30中示出的本发明的实施例2的DRAM的第1变形例相同的结构。但是，在该第4变形例中，在电容器下部电极92和侧壁96、97的表面上形成了粒状结晶98。因此，与没有形成侧壁96、97或粒状  
30 结晶98的情况相比，可增大电容器下部电极的表面积，可进一步增

大电容器的电容。由此，既可确保一定的电容器的电容，又可比以往减小电容器下部电极的占有面积。结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

5 参照图 38，说明图 37 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 4 变形例的制造工序。

首先，实施图 31 和 32 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序。此时，用非晶硅形成电容器下部电极 92。然后，如图 38 所示，在电容器下部电极 92 和侧壁 96、97 的表面上通过使用图 18 中示出的本发明的实施例 1 的第 2 变形例的制造工序中使用的工序，形成粒状结晶 98。

其后，通过形成电介质膜 150（参照图 37）等，得到图 37 中示出的结构。

### （实施例 3）

参照图 39，该存储单元区的剖面图示出了图 1 中沿 600-600 线的剖面，在本发明的实施例 3 的 DRAM 的存储单元区中，在半导体衬底 1 的主表面上形成槽分离氧化膜 40，使其包围有源区 39。在半导体衬底 1 的主表面上形成源/漏区 201a~201c。在与源/漏区 201a~201c 邻接的沟道区上，经栅绝缘膜 42a、42b、42e 形成栅电极 43a、43b、43e。在栅电极 43a、43b、43e 上形成氮化硅膜 44a、44b、44e。而且，在该栅绝缘膜 42a、42b、42e、栅电极 43a、43b、43e 和氮化硅膜 44a、44b、44e 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁 46a~46d、46h、46i。在氮化硅膜 44a、44b、44e、侧壁 46a~46d、46h、46i 和半导体衬底 1 的主表面上形成非掺杂氧化硅膜 47。在该非掺杂氧化硅膜 47 上形成第 1 层间绝缘膜 48。在第 1 层间绝缘膜 48 上形成第 2 层间绝缘膜 37。通过除去第 1 和第 2 层间绝缘膜 48、37 和非掺杂氧化硅膜 47 的一部分，形成接触孔 38a、38b。在接触孔 38a、38b 的内部分别形成由多晶硅构成的栓 57a、57b。在第 2 层间绝缘膜 37 的上部表面的一部分上形成氮化硅膜 58。在栓 57a、57b 和第 2 层间绝缘膜 37 上形成电容器下部电极 170a、170b。在电容器下部电极 170a、170b 的侧面上形成第 3 层间绝缘膜 77。在电容器下部电极 170a、170b 的内侧表面上形成粒状结晶 74。在粒状结晶 74 和第 3 层间绝缘膜 77 上形成电容器的电介质膜 150。在电介质膜 150 上形

成电容器上部电极 151。在电容器上部电极 151 上形成第 4 层间绝缘膜 205。而且，位于电容器下部电极 170a、170b 之间的第 3 层间绝缘膜 77 的一部分的宽度 W2 比用光刻加工可形成的最小加工尺寸小。

5 本发明的实施例 3 的 DRAM 的外围电路区的剖面图基本上示出了与图 2 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的外围电路区的剖面图相同的结构。

这样，在本发明的实施例 3 的 DRAM 中，如图 39 所示，由于电容器下部电极 170a、170b 的顶面与第 3 层间绝缘膜 77 的上部表面的各自的高度大致是相同的，故可防止在存储单元区和外围电路区之间的第 4 层间绝缘膜 205 的上部表面的台阶差的发生。因此，在第 4 层间绝缘膜 205 上用光刻加工形成布线层的情况下，也可防止起因于存在上述台阶差而产生该布线层的图形变得不清晰的情况。因此，可防止由于上述布线层的图形不清晰而产生上述布线层的断线、短路的问题。其结果，可得到这样一种半导体装置，该半导体装置能在谋求高集成化的同时确保电容器的电容，而且具有高的可靠性。此外，由于第 3 层间绝缘膜 77 的宽度 W2 比用光刻加工可形成的最小加工尺寸小，故与以往相比，可减小电容器下部电极 170a、170b 之间的间隔。结果，可实现半导体装置的进一步的高集成化。再有，在第 1 和第 2 实施例中，如果与该实施例 3 相同，使电容器下部电极之间的层间绝缘膜的宽度比用光刻加工可形成的最小加工尺寸小，则也能得到同样的效果。

以下，参照图 40~42，说明本发明的实施例 3 的 DRAM 的制造工序。

首先，在本发明的实施例 3 的 DRAM 的存储单元区中，在半导体衬底 1（参照图 40）的主表面上形成槽分离氧化膜 40（参照图 40）。在半导体衬底 1 的主表面上形成成为栅绝缘膜的氧化硅膜（图中未示出）。在该氧化硅膜上形成成为栅电极的多晶硅膜（图中未示出）。在该多晶硅膜上形成氮化硅膜（图中未示出）。在该氮化硅膜上形成抗蚀剂图形（图中未示出）。以该抗蚀剂图形为掩模，通过刻蚀氮化硅膜、多晶硅膜和氧化硅膜，形成栅绝缘膜 42a、42b、42e、栅电极 43a、43b、43e 和氮化硅膜 44a、44b、44e（参照图 40）。然后，形成氮化硅膜（图中未示出），使其覆盖整个表面。其后，通过对该氮

化硅膜进行各向异性刻蚀，形成侧壁 46a~46d、46h、46i（参照图 40）。然后，形成非掺杂氧化硅膜 47（参照图 40），使其覆盖整个表面。在非掺杂氧化硅膜 47 上形成由掺磷氧化硅膜构成的第 1 层间绝缘膜 48（参照图 40）。在第 1 层间绝缘膜 48 上形成第 2 层间绝缘膜 37（参照图 40）。在第 2 层间绝缘膜 37 上形成抗蚀剂图形后，以该抗蚀剂图形为掩模，通过除去第 1 和第 2 层间绝缘膜 48、37 和非掺杂氧化硅膜 47 的一部分，形成接触孔 38a、38b（参照图 40）。在接触孔 38a、38b 的内部形成由多晶硅构成的栓 57a、57b。在第 2 层间绝缘膜 37 和栓 57a、57b 上形成氮化硅膜 58（参照图 40）。在氮化硅膜 58 上形成由氧化硅膜构成的第 3 层间绝缘膜 77。在第 3 层间绝缘膜 77 上形成了抗蚀剂图形后，以该抗蚀剂图形为掩模，通过除去第 3 层间绝缘膜 77 和氮化硅膜 58 的一部分，形成开口部 61a、61b。通过这样做，得到图 40 中示出的结构。在这里，将开口部 61a 的宽度设为 L1，将位于开口部 61a 和 61b 之间的第 3 层间绝缘膜 77 的一部分的宽度设为 W1。

其次，通过使用了碱或酸等的水溶液的湿法刻蚀，除去第 3 层间绝缘膜 77 的表面的一部分。由此，在将开口部 61a 的宽度从 L1 向 L2（参照图 41）扩展的同时，位于开口部 61a 和 61b 之间的第 3 层间绝缘膜 77 的一部分的宽度从 W1 向 W2（参照图 41）变小。通过这样做，得到图 41 中示出的结构。

其次，使用图 22 和图 23 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 3 变形例的制造工序，在第 3 层间绝缘膜 77 上和开口部 61a、61b 的内部形成非晶硅膜（图中未示出）。然后，在非晶硅膜上形成粒状结晶 74（参照图 42）。然后，通过使用干法刻蚀等除去位于第 3 层间绝缘膜 77 的上部表面上的非晶硅膜和粒状结晶，得到图 42 中示出的结构。

其后，通过在粒状结晶 74 上和第 3 层间绝缘膜 77 上形成电介质膜 150（参照图 39）等，得到图 39 中示出的结构。再有，利用与图 3~13 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的外围电路区相同的制造工序，形成外围电路区。

参照图 43，本发明的实施例 3 的 DRAM 的第 1 变形例基本上具备与图 39 中示出的本发明的实施例 3 的 DRAM 相同的结构。但是，在该

图 43 中示出的本发明的实施例 3 的 DRAM 的第 1 变形例中, 由非掺杂氧化硅膜 85 和掺硼氧化硅膜 86 构成第 3 层间绝缘膜。这样, 通过将第 3 层间绝缘膜作成 2 层结构, 在下面所述的制造工序中, 在扩展开口部 61a、61b 的宽度时, 使用气相 HF, 不刻蚀上层的非掺杂氧化硅膜 85, 只刻蚀掺硼氧化硅膜 86, 可扩展开口部 61a、61b 的宽度。由此, 在扩展开口部 61a、61b 的宽度、减小位于其间的第 3 层间绝缘膜的一部分的宽度的工序中, 可防止由刻蚀除去该第 3 层间绝缘膜的上部表面。因此, 可防止其后形成的电容器下部电极 170a、170b 的侧面的高度变低。其结果, 可防止电容器下部电极的表面积变小, 可防止电容器的电容降低。

以下, 参照图 44~46, 说明本发明的实施例 3 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序。

首先, 通过与图 40 中示出的本发明的实施例 3 的 DRAM 的制造工序基本上相同的工序, 得到图 44 中示出的结构。但是, 在图 40 中示出的工序中, 第 3 层间绝缘膜 77 是 1 层, 而在图 44 中示出的工序中, 在氮化硅膜 58 上形成了掺硼氧化硅膜 86 后, 在该掺硼氧化硅膜上形成非掺杂氧化硅膜 85, 由此来构成第 3 层间绝缘膜。而且, 将此时的开口部 61a 的宽度设为  $L1$ , 将位于开口部 61a 和 61b 之间的第 3 层间绝缘膜 86、85 的一部分的宽度设为  $W1$ 。

其次, 如图 45 所示, 使用气相 HF, 利用刻蚀只除去掺硼氧化硅膜 86 的侧面。因此, 如果开口部 61a 的宽度成为  $L2$ , 位于开口部 61a 和 61b 之间的第 3 层间绝缘膜 86 的一部分的宽度设为  $W2$ , 则可比用最初的刻蚀形成的宽度  $W1$  小。

然后, 在图 42 中示出的本发明的实施例 3 的 DRAM 的制造工序中, 通过与形成电容器下部电极 170a、170b (参照图 42) 和粒状结晶 74 (参照图 42) 的工序相同的工序, 如图 46 所示, 在开口部 61a 和 61b 的内部形成电容器下部电极 170a、170b 和粒状结晶 74。

其后, 通过形成电介质膜 150 (参照图 43) 等, 得到图 43 示出的结构。

参照图 47, 本发明的实施例 3 的 DRAM 的第 2 变形例基本上具备与图 39 中示出的本发明的实施例 3 的 DRAM 相同的结构。但是, 在该图 47 中示出的本发明的实施例 3 的 DRAM 的第 2 变形例中, 电容器下

部电极 170a、170b 的侧面具有弯曲面。因此，与图 39 中示出的那种电容器的下部电极 170a、170b 那样作成平面状的情况相比，可增大电容器下部电极 170a、170b 的侧面的表面积。因此，既可确保一定的电容器电容，又可与以往相比进一步减小电容器的占有面积。其结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

以下，参照图 48 和 49，说明本发明的实施例 3 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序。

首先，实施图 40 中示出的本发明的实施例 3 的 DRAM 的制造工序的第 1 工序。但是，在对第 3 层间绝缘膜 77（参照图 48）进行干法刻蚀时，使该刻蚀的气氛压力为高压。由此，如图 48 所示，可形成开口部 61a 和 61b 的内部的第 3 层间绝缘膜 77 的侧面，使其具有弯曲面。再有，在该刻蚀工序中，也可减少刻蚀气体向形成保护第 3 层间绝缘膜 77 的侧面的膜用的气氛气体的掺入量。作为该刻蚀工序中使用的刻蚀气体，可使用  $\text{CHF}_3/\text{CF}_4$  系列的气体。此时，增加  $\text{CF}_4$  的流量对于形成弯曲面是有效的，此外，混合  $\text{O}_2$  等的气体也是有效的。

其次，如图 49 所示，与本发明的实施例 3 的 DRAM 的图 42 中示出的制造工序相同，在开口部 61a 和 61b 的内部形成电容器下部电极 170a、170b 和粒状结晶 74。

其后，通过形成电介质膜 150（参照图 47）等，得到图 47 示出的结构。再有，以这种方式形成电容器下部电极 170a、170b 的侧面使之具有弯曲面的方法，无论应用于图 1-26 中示出本发明的实施例 1 的 DRAM 的电容器下部电极，或应用于其它的具有圆柱状的电容器下部电极的实施例，都可得到同样的效果。

#### （实施例 4）

在这里，图 50 中示出的存储单元区的剖面示出了图 1 中示出的 DRAM 的存储单元区的平面示意图的沿 500-500 线的剖面。而且，该图 50 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的基本上具备与图 2 中示出本发明的实施例 1 的 DRAM 相同的结构。但是，在该实施例 4 的 DRAM 中，如下面所述的制造工序中示出的那样，在电容器下部电极 170a 和第 3 层间绝缘膜 77 之间形成空隙，在该空隙中形成电介质膜 150 和电容器上部电极 151。此外，这样来形成第 3 层间绝缘膜 77 的上部表面的位置，使其位于与电容器下部电极 170a 的顶面大致同样的



高度。这样，在本发明的实施例 4 的 DRAM 中，由于在下面所述的制造工序中在电容器下部电极 170a 和第 3 层间绝缘膜 77 之间形成空隙，故可将电容器下部电极 170a 的侧面作为电容器来利用。因此，在不改变电容器下部电极 170a 的形状的情况下可增大电容器的电容。

此外，由于这样来形成第 3 层间绝缘膜 77，使其从存储单元区延伸到外围电路区，故即使在存储单元区和外围电路区中在电容器上部电极 151 上形成第 4 层间绝缘膜的情况下，也可防止存储单元区和外围电路区之间的上述第 4 层间绝缘膜的上部表面上产生台阶差。此外，如在下面所述的制造工序中所示出的那样，由于只在电容器下部电极 170a 的侧面形成空隙，故在电容器下部电极 170a 的底面，电容器下部电极 170a 与第 2 层间绝缘膜 37 在形成了上述空隙时，也始终处于接触的状态。因此，即使在形成了上述空隙的状态下清洗半导体衬底的工序中，由于电容器下部电极 170a 的底面与第 2 层间绝缘膜 37 接触，故该第 2 层间绝缘膜 37 起到对于物理冲击的增强部件的作用。因此，可防止发生因上述那样的清洗工序等中的物理振动使电容器下部电极 170a 受到损坏的问题。

再有，即使将该实施例 4 中示出的结构应用于实施例 1~3，也能得到同样的效果。

参照图 51~55，说明本发明的实施例 4 的 DRAM 的制造工序。

首先，在实施了图 3~9 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序后，在第 2 层间绝缘膜 37（参照图 51）上形成氮化硅膜 58（参照图 51）和第 3 层间绝缘膜 77（参照图 51）。在第 3 层间绝缘膜 77 上形成了抗蚀剂图形（图中未示出）后，以该抗蚀剂图形为掩模，通过各向异性刻蚀除去第 3 层间绝缘膜 77 的一部分。由此，形成开口部 61（参照图 51）。然后，用刻蚀在开口部 61 的底部除去氮化硅膜 58。这里，如图 39 中示出的本发明的实施例 3 那样，也可用刻蚀来扩展开口部 61 的宽度。通过这样做，也可得到与实施例 3 同样的效果。其后，在第 3 层间绝缘膜 77 和开口部 61 的内部形成氮化硅膜 99（参照图 51）。通过这样做，可得到图 51 中示出的结构。此时，也可在不除去开口部 61 的底部的氮化硅膜 58 的情况下，在第 3 层间绝缘膜 77 上和开口部 61 的内部形成氮化硅膜 99。

其次，通过用各向异性刻蚀除去氮化硅膜 99 的一部分，通过在开口部 61 的内部形成由氮化硅膜构成的侧壁 100，得到图 52 中示出的结构。

其次，如图 53 所示，在第 3 层间绝缘膜 77 上和开口部 61 的内部形成多晶硅或非晶硅等的导电体膜 101。

其次，与实施例 1 同样，用刻蚀等除去位于第 3 层间绝缘膜 77 上的导电体膜 101 的一部分，由此，得到图 54 中示出的结构。通过该工序，将对于各位的电容器下部电极 170a 分离开。

其次，通过用刻蚀有选择地除去由氮化硅膜构成的侧壁 100，在电容器下部电极 170a 与第 3 层间绝缘膜 77 之间形成空隙。这样就得到图 55 中示出的结构。

其后，通过形成电介质膜 150（参照图 50）等，得到图 50 中示出的结构。再有，通过与图 3～13 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的外围电路区相同的制造工序，形成外围电路区。

参照图 56，本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 1 变形例基本上具备与图 50 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 相同的结构。但是，在该第 1 变形例中，在残留一部分由位于电容器下部电极 170a 与第 3 层间绝缘膜 77 之间的氮化硅膜构成的侧壁 100 的状态下，形成了电容器。这样，由于使侧壁 100 的一部分残留下来，故通过改变该侧壁 100 的残留量，可改变作为电容器起作用的电容器下部电极 170a 的外部侧面的表面积。由此，在不改变电容器下部电极 170a 的结构的情况下，可改变电容器的电容。此外，由于残留的侧壁 100 的一部分也起到对于物理冲击的上述增强部件的作用，故可更有效地防止因清洗工序等中的物理振动使电容器下部电极 170a 受到损坏的问题。

以下，参照图 57，说明本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序。

首先，在实施了图 51～54 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的制造工序后，如图 57 所示，利用刻蚀除去侧壁 100 的一部分，使侧壁 100 的一部分残留下来。此时，在使用湿法刻蚀的情况下，通过控制向刻蚀液中的浸泡时间，可只除去侧壁 100 的一部分。

其后，通过形成电介质膜 150（参照图 56），得到图 56 中示出的结构。

参照图 58, 本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 2 变形例基本上具备与图 50 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 相同的结构。但是, 在图 58 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 2 变形例中, 在下面所述的制造工序中, 形成位于电容器下部电极 170a 与第 3 层间绝缘膜 77 之间的空隙, 使电容器下部电极 170a 的底面的一部分也露出。然后, 通过在该电容器下部电极 170a 的底面的一部分上也形成电介质膜 150 等, 使其起到电容器的作用。通过这样来形成, 可进一步增大电容器的电容。

以下参照图 59, 说明本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序。

首先, 在实施了图 51~54 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的制造工序后, 如图 59 所示, 在实施了除去位于电容器下部电极 170a 与第 3 层间绝缘膜 77 之间的侧壁 100 (参照图 54) 后进行刻蚀, 以便也除去位于该侧壁 100 下的第 2 层间绝缘膜 37 的一部分。通过这样做, 可形成空隙, 使电容器下部电极 170a 的外部侧面和底面的一部分露出。然后, 由于此时电容器下部电极 170a 的底面的另一部分处于与第 2 层间绝缘膜 37 接触的状态, 故即使在其后实施了清洗工序等的情况下, 相对于清洗工序等中的物理冲击, 第 2 层间绝缘膜 37 也起到防止电容器下部电极 170a 的损坏等的增强部件的作用。

其后, 通过形成电介质膜 150 (参照图 58) 等, 得到图 58 中示出的结构。

参照图 60, 本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 3 变形例基本上具备与图 50 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 相同的结构。但是, 在本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 3 变形例中, 在电容器下部电极 170a 的内侧表面上形成粒状结晶 74。因此, 可在不增大电容器下部电极 170a 的占有面积的情况下, 增大电容器下部电极 170a 的表面积。由此, 可增大电容器的电容。其结果, 既可确保一定的电容器电容, 又可减小电容器下部电极 170a 的占有面积。其结果, 可谋求半导体装置的微细化。

以下, 参照图 61~63, 说明本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 3 变形例的制造工序。

首先, 在实施了图 51~53 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的

制造工序后，通过与在实施例 1 等中使用的工序相同的工序，在导电体膜 101 上形成粒状结晶 74。通过这样做，就得到图 61 中示出的结构。

其次，如图 62 所示，用刻蚀除去位于第 3 层间绝缘膜 77 上的导电体膜 101 和粒状结晶 74。再有，这里也可使用 CMP 法。

其次，通过用刻蚀除去开口部 61 的内部的侧壁 100，如图 63 所示，在电容器下部电极 170a 与第 3 层间绝缘膜 77 之间形成空隙。

其后，通过形成电容器的电介质膜 150（参照图 60）等，得到图 60 中示出的结构。

参照图 64，本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 4 变形例基本上具备与图 50 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 相同的结构。但是，在本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 4 变形例中，在电容器下部电极 170a 的内侧表面和外侧表面上整体地形成粒状结晶 74。因此，因此，可在不增大电容器下部电极 170a 的占有面积的情况下，增大电容器下部电极 170a 的表面积。由此，既可确保一定的电容器电容，又可与以往相比进一步减小电容器下部电极 170a 的占有面积。其结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

此外，在这里，在形成了开口部 61 后，如实施例 3 那样，通过用刻蚀扩展该开口部 61 的宽度，可使位于电容器下部电极 170a 和其它的电容器下部电极之间的第 3 层间绝缘膜 77 的宽度比利用光刻加工可形成的最小加工尺寸小。由此，可实现半导体装置的进一步的微细化。

参照图 65，说明图 64 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的第 4 变形例的制造工序。

首先，实施图 51-55 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的制造工序。其后，通过与在实施例 1 等中使用的工序相同的工序，在电容器下部电极 170a 的表面上形成粒状结晶 74（参照图 65）。通过这样做，就得到图 65 中示出的结构。

其后，通过形成电介质膜 150（参照图 64）等，得到图 64 中示出的结构。

再有，即使将上述实施例的第 1-第 4 变形例应用于实施例 1-3，也能得到同样的效果。

### (实施例 5)

参照图 66, 本发明的实施例 5 的 DRAM 基本上具备与图 50 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 相同的结构。但是, 本实施例 5 的 DRAM 的电容器下部电极 105 具有厚膜型的形状。而且, 在本实施例 5 的 DRAM 中, 由于在电容器下部电极 105 的侧面与第 3 层间绝缘膜 77 之间形成空隙, 在电容器下部电极 105 的侧面上形成了电介质膜 150 和电容器上部电极 151, 故可增大电容器的电容。此外, 由于在下面所述的制造工序中只在电容器下部电极 105 的侧面与第 3 层间绝缘膜 77 之间形成空隙, 故可在形成了这样的空隙的状态下, 形成电容器下部电极 105 的底面与第 2 层间绝缘膜 37 接触的状态。因此, 在形成了上述空隙的状态下, 即使实施清洗形成了该半导体装置的半导体衬底的工序, 该与电容器下部电极 105 的底面接触的第 2 层间绝缘膜 37 也起到增强部件的作用, 故可防止因上述清洗工序等中的物理振动使电容器下部电极 105 的一部分受到损坏的问题。

此外, 由于电容器下部电极 105 处于埋入于第 3 层间绝缘膜 77 中的状态, 故可防止起因于该电容器下部电极 105 而在存储单元区和外围电路区等上的第 4 绝缘膜 205 的上部表面内产生台阶差。因此, 在第 4 层间绝缘膜 205 上用光刻加工形成由铝等构成的布线层的情况下, 也可防止起因于第 4 层间绝缘膜 205 的上部表面存在台阶差而产生该布线层的图形变得不清晰的情况。因此, 可防止由于上述布线层的图形不清晰而产生上述布线层的断线、短路的问题。其结果, 可得到这样一种半导体装置, 该半导体装置能在谋求高集成化的同时确保电容器的电容, 而且具有高的可靠性。

此外, 在本实施例 5 中, 通过用刻蚀扩展开口部 61 的宽度, 可使位于电容器下部电极 105 和其它的电容器下部电极之间的第 3 层间绝缘膜 77 的一部分的宽度比利用光刻加工可形成的最小加工尺寸小。由此, 与以往相比可减小电容器下部电极 105 和其它的电容器下部电极之间的间隔。其结果, 可实现半导体装置的进一步的高集成化。

以下, 参照图 67~69, 说明本发明的实施例 5 的 DRAM 的制造工序。

首先, 实施图 51 及 52 中示出的本发明的实施例 4 的 DRAM 的制造工序后, 如图 67 所示, 在第 3 层间绝缘膜 77 上和开口部 61 内部形

成由非晶硅等构成的电介质膜 104。

其次，使用干法刻蚀或 CMP 法，通过除去位于第 3 层间绝缘膜 77 上的电介质膜 104 的一部分，得到图 68 中示出的结构。通过这样做，就形成了电容器下部电极 105。

5 其次，如图 69 所示，通过用刻蚀除去侧壁 100（参照图 68），在电容器下部电极 105 与第 3 层间绝缘膜 77 之间形成空隙。

其后，通过电容器下部电极 105 的表面上和第 3 层间绝缘膜 77 上形成电介质膜 150（参照图 66）等，得到图 66 中示出的结构。再有，通过与图 3~13 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的外围电路区相同的制造工序，形成外围电路区。

10 参照图 70，本发明的实施例 5 的 DRAM 的变形例基本上具备与图 66 中示出的本发明的实施例 5 的 DRAM 相同的结构。但是，在本发明的实施例 5 的 DRAM 的变形例中，在电容器下部电极 105 的表面上形成了粒状结晶 74。因此，除了图 66 中示出的本发明的实施例 5 的效果以外，可在不增大电容器下部电极 105 的占有面积的情况下，进一步增大电容器下部电极的表面积。由此，可增大电容器的电容。因此，既可确保一定的电容器电容，又可与以往相比进一步减小电容器下部电极 105 的占有面积。其结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

20 以下，参照图 71，说明本发明的实施例 5 的 DRAM 的变形例的制造工序。

首先，在实施了图 67~69 中示出的本发明的实施例 5 的 DRAM 的制造工序后，如图 71 所示，在电容器下部电极 105 的表面上形成粒状结晶 74。作为该粒状结晶 74 的形成工序，使用与实施例 1 中使用的形成粒状结晶的工序相同的工序。

25 其后，通过在第 3 层间绝缘膜 77 上和电容器下部电极 105 的表面上形成电介质膜 150（参照图 70）等，得到图 70 中示出的结构。

（实施例 6）

30 图 72 中示出的存储单元区的剖面图示出了图 1 中示出的 DRAM 的存储单元区的平面示意图的沿 700-700 线的剖面。

参照图 72，在本发明的实施例 6 的 DRAM 的存储单元区中，在半导体衬底 1 的主表面上形成槽分离氧化膜 40，使其包围有源区 39。

在半导体衬底 1 的主表面上形成源/漏区 201b、201c。在半导体衬底 1 的主表面上，经栅绝缘膜 42b 形成栅电极 43b。在栅电极 43b 上形成氮化硅膜 44b。在氮化硅膜 44b、栅电极 43b 和栅绝缘膜 42b 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁 46c、46d。在氮化硅膜 44b、侧壁 46c、46d 和半导体衬底 1 的主表面上形成非掺杂氧化硅膜 47。在非掺杂氧化硅膜 47 上形成第 1 层间绝缘膜 48。在第 1 层间绝缘膜 48 上形成由掺杂多晶硅膜 52 和高熔点金属硅化物膜 53 构成位线 174。在位线 174 上形成氮化硅膜 54。在氮化硅膜 54 和位线 174 的侧面形成由氮化硅膜构成的侧壁 55a、55b。在氮化硅膜 54、侧壁 55a、55b 和第 1 层间绝缘膜 48 上形成第 2 层间绝缘膜 37。通过除去第 1 和第 2 层间绝缘膜 48、37 和非掺杂氧化硅膜 47 的一部分，形成开口部 110。而且，形成该第 2 层间绝缘膜 37，使其从存储单元区延伸到外围电路区。在开口部 110 的内部形成由非晶硅或多晶硅构成的电容器下部电极 112，使其一部分延伸到第 2 层间绝缘膜 37 的上方。在电容器下部电极 112 上和第 2 层间绝缘膜 37 上形成电介质膜 150。在电介质膜 150 上形成电容器上部电极 151。在电容器上部电极 151 上形成第 3 层间绝缘膜 205。而且，本实施例 6 的 DRAM 的外围电路区的结构基本上与图 2 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 相同。

这样，在本发明的实施例 6 的 DRAM 中，电容器下部电极 112 处于部分地埋入于第 2 层间绝缘膜 37 中的状态。因此，与以往相比，可减小存储单元区中的第 2 层间绝缘膜 37 的上部表面与电容器下部电极 112 的顶面的台阶差。由此，即使在存储单元区和外围电路区上形成第 3 层间绝缘膜 205 的情况下，也可减小在第 3 层间绝缘膜 205 的上部表面内在存储单元区和外围电路区之间的台阶差。其结果，在第 3 层间绝缘膜 205 上用光刻加工形成由铝等构成的布线层的情况下，也可防止起因于第 3 层间绝缘膜 205 的上部表面的台阶差而导致该布线层的图形变得不清晰的情况。其结果，可防止由于上述布线层的图形不清晰而发生上述布线层的断线、短路的问题。其结果，可得到这样一种半导体装置，该半导体装置能在谋求高集成化的同时确保电容器的电容，而且具有高的可靠性。

此外，如图 72 所示，由于电容器下部电极 112 与氮化硅膜 54 和侧壁 55b 接触，故在下面所述的制造工序中，在用于形成开口 110

的刻蚀中，可将氮化硅膜 54 和侧壁 55b 作为掩模来利用。因此，不需要象以往那样，为了形成连接电容器下部电极与在半导体衬底 1 的主表面上的源/漏区 201b 用的接触孔而进行抗蚀剂图形的图形刻蚀的工序。因此，可削减制造工序的数目。

5 以下，参照图 73~77，说明本发明的实施例 6 的 DRAM 的制造工序。

首先，在半导体衬底 1（参照图 73）的主表面上形成槽分离氧化膜 40（参照图 73），使其包围有源区 39。在半导体衬底 1 的主表面上形成成为栅绝缘膜的氧化硅膜（图中未示出）。在该氧化硅膜上形成成为栅电极的多晶硅膜（图中未示出）。在多晶硅膜上形成氮化硅膜（图中未示出）。在该氮化硅膜上形成抗蚀剂图形（图中未示出），以该抗蚀剂图形为掩模，用刻蚀除去上述氮化硅膜、多晶硅膜和氧化硅膜的一部分。通过这样做，就形成栅绝缘膜 42b（参照图 73）、栅电极 43b（参照图 73）和氮化硅膜 44b（参照图 73）。其后，除去抗蚀剂图形。其次形成氮化硅膜（图中未示出），使其覆盖整个表面。其后，通过用各向异性刻蚀除去该氮化硅膜的一部分，在栅绝缘膜 42b、栅电极 43b 和氮化硅膜 44b 的侧面形成侧壁 46c、46d（参照图 73）。

形成非掺杂氧化硅膜 47（参照图 73），使其覆盖整个表面。在非掺杂氧化硅膜 47 上形成第 1 层间绝缘膜 48（参照图 73）。在第 1 层间绝缘膜 48 上形成掺杂多晶硅膜（图中未示出）。在掺杂多晶硅膜上形成高熔点金属硅化物膜（图中未示出）。在高熔点金属硅化物膜上形成氮化硅膜（图中未示出）。在氮化硅膜上形成了抗蚀剂图形（图中未示出）后，以该抗蚀剂图形为掩模，通过除去上述氮化硅膜、高熔点金属硅化物膜、掺杂多晶硅膜的一部分，形成由掺杂多晶硅膜 52（参照图 73）和高熔点金属硅化物膜 53（参照图 73）构成的位线 174（参照图 73）和氮化硅膜 54（参照图 73）。形成氮化硅膜（图中未示出）以便覆盖整个表面后，通过用各向异性刻蚀除去该氮化硅膜的一部分，形成侧壁 55a、55b（参照图 73）。在氮化硅膜 54 上形成第 2 层间绝缘膜 37（参照图 73）。在第 2 层间绝缘膜 37 上形成掺硼氧化硅膜 60（参照图 73）。通过这样做，得到图 73 中示出的结构。再有，在外围电路区中的场效应晶体管和布线的制造工序与本发明的



实施例 1 的 DRAM 的外围电路区中的场效应晶体管和布线的制造工序相同。

其次，在掺硼氧化硅膜 60 上形成了抗蚀剂图形（图中未示出）后，使用该抗蚀剂图形为掩模，通过除去掺硼氧化硅膜 60、第 2 层间绝缘膜 37、第 1 层间绝缘膜 48、非掺杂氧化硅膜 47 的一部分，形成开口部 110（参照图 74）。在形成该开口部 110 的刻蚀中，氮化硅膜 54、44b、侧壁 55b、46c 作为掩模的一部分来使用，能使开口部 110 以自对准的方式到达源/漏区 201b。其后，通过除去抗蚀剂图形，得到图 74 中示出的结构。

这里，也可通过使用各向同性刻蚀来扩展开口部 110 的宽度。由此，可使位于开口部 10 与其它的电容器下部电极用的开口部之间的第 2 层间绝缘膜 37 的一部分的宽度比用光刻加工可形成的最小加工尺寸小。由此，在该开口部 110 中形成电容器下部电极 112（参照图 72）的情况下，与以往相比也可减小该电容器下部电极 112 和其它的

电容器下部电极之间的间隔。其结果，可实现半导体装置的进一步的高集成化。

其次，如图 75 所示，在掺硼氧化硅膜 60 上和开口部 110 的内部形成由非晶硅等构成的导电体膜 111。

其次，如图 76 所示，通过使用干法刻蚀或 CMP 法除去位于掺硼氧化硅膜 60 上的导电体膜 111（参照图 75），形成电容器下部电极 112。

其次，如图 77 所示，用刻蚀除去掺硼氧化硅膜（参照图 76）。其后，在电容器下部电极 112 上和第 2 层间绝缘膜 37 上形成电介质膜 150（参照图 72）等，由此得到图 72 中示出的结构。

参照图 78，本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 1 变形例基本上具备与图 72 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 相同的结构。但是，在本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 1 变形例中，在电容器下部电极 112 的内部表面上形成了粒状结晶 74。因此，可在不增大电容器下部电极 112 在半导体衬底 1 上的占有面积的情况下，增大电容器下部电极 112 的表面积。由此，可增大电容器的电容。其结果，既可确保一定的电容器电容，又可减小电容器下部电极 112 的占有面积。其结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

作为该实施例 6 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序，在实施了图

73~75 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的制造工序后, 实施图 22 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 3 变形例的制造工序。其后, 通过实施图 76 和 77 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的制造工序, 得到图 78 中示出的结构。

5 参照图 79, 本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 2 变形例基本上具备与图 72 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 相同的结构。但是, 在该图 79 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 2 变形例中, 在电容器下部电极 112 的内侧表面和外部侧面上形成了粒状结晶 74。因此, 可在不增大电容器下部电极 112 的占有面积的情况下, 增大电容器下部  
10 电极 112 的表面积。因此, 既可确保一定的电容器电容, 又可进一步减小电容器下部电极 112 的占有面积。

以下, 参照图 80, 说明本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序。

首先, 在实施了图 73~77 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的  
15 制造工序后, 在电容器下部电极 112 的表面上形成粒状结晶 74 (参照图 80)。作为该粒状结晶 74 的形成工序, 使用在本发明的实施例 1 中形成粒状结晶 74 中使用的工序。通过这样做, 得到图 80 中示出的结构。

其后, 在粒状结晶 74 上和第 2 层间绝缘膜 37 上形成电介质膜 150  
20 (参照图 79) 等, 由此得到图 79 中示出的结构。

参照图 81, 本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 3 变形例基本上具备与图 72 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 相同的结构。但是, 在本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 3 变形例中, 将电容器下部电极 92 形成  
25 为厚膜型的。而且, 在图 81 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 3 变形例中, 也能得到与图 72 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 相同的效果。

作为图 81 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 3 变形例的制造工序, 首先, 在实施了图 73 和 74 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的制造工序后, 实施图 28 和 29 中示出的本发明的实施例 2 的  
30 DRAM 的制造工序。通过这样做, 可得到图 81 中示出的结构。

参照图 82, 本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 4 变形例基本上具备与图 81 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 3 变形例相同的结

构。但是，在该图 82 中示出的第 4 变形例中，在电容器下部电极 92 的侧面上具备侧壁 96、97。以曲面状形成侧壁 96、97 的至少一部分。因此，与在电容器下部电极 92 上不形成侧壁 96、97 的情况相比，可增大电容器下部电极 92 的侧面的表面积。由此，可增大电容器的电容。其结果，既可确保一定的电容器电容，又可与以往相比减小电容器下部电极的占有面积。其结果，可实现半导体装置的进一步的微细化。

作为该图 82 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 4 变形例的制造工序，在实施了图 73 和 74 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的制造工序后，实施图 28 和 29 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的制造工序。其后，实施图 31、32 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序。通过这样做，得到图 82 中示出的结构。

参照图 83，本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 5 变形例基本上具备与图 82 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 4 变形例相同的结构，但在电容器下部电极 92 的侧面上形成的侧壁 96、97 的表面上还具备粒状结晶 98。因此，由于本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 5 变形例具备粒状结晶 98，故可在不增大电容器下部电极 92 的占有面积的情况下，进一步增大电容器下部电极的表面积。由此，可增大电容器的电容。由此，既可确保一定的电容器的电容，又可与以往相比减小电容器下部电极 92 的占有面积，可实现半导体装置的进一步的微细化。

作为该图 83 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 5 变形例的制造工序，首先，在实施了图 73 和 74 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的制造工序后，实施图 28 和 29 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的制造工序。然后，在实施了图 31 和 32 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序后，实施图 36 中示出的本发明的实施例 2 的 DRAM 的第 3 变形例的制造工序。通过这样做，得到图 83 中示出的结构。

参照图 84，本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 6 变形例基本上具备与图 83 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 5 变形例相同的结构。但是，在该图 84 中示出的第 6 变形例中，在电容器下部电极 92 的上部表面上也形成粒状结晶 98。因此，可在不增大电容器下部电

极 92 的占有面积的情况下, 进一步增大电容器下部电极 92 的表面积。由此, 可得到与图 83 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 5 变形例相同的效果。

该图 84 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 6 变形例的制造  
5 工序, 在通过图 83 中示出的本发明的实施例 6 的 DRAM 的第 5 变形例  
制造工序形成了侧壁 96、97 后, 通过实施图 38 中示出的本发明的实  
施例 2 的 DRAM 的第 4 变形例的制造工序, 得到图 84 中示出的结构。

(实施例 7)

本实施例 7 的 DRAM 的存储单元区基本上具备与图 1 中示出的本发  
10 明的实施例 1 的 DRAM 的存储单元区相同的结构。但是, 在本实施例  
7 的 DRAM 中, 位线 174 的宽度比接触孔 49 的宽度小。而且, 在图 86  
中示出沿 500-500 线的剖面。参照图 86, 本发明的实施例 7 的 DRAM  
基本上具备与图 16 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 1 变形例  
15 相同的结构。但是, 这样来形成该图 86 中示出的本发明的实施例 7  
的 DRAM, 使得位线 174 的宽度比接触孔 49 的宽度小。

因此, 除了图 16 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 1 变形  
例的效果以外, 与以往那样使位线 174 的宽度比接触孔 49 的宽度大  
的情况相比, 可实现半导体装置的进一步的微细化。

此外, 位线 174 与第 2 层间绝缘膜 37 直接接触, 在位线 174 与第  
20 2 层间绝缘膜 37 之间没有形成氮化硅膜等的布线保护绝缘膜。因此,  
与以往那样在位线 174 上形成布线保护绝缘膜的情况相比, 可削减在  
存储单元区中形成的层的数目。由此, 可降低存储单元区中的第 4 层  
间绝缘膜 205 的上部表面的高度, 可进一步降低第 4 层间绝缘膜 205  
的上部表面的存储单元区中的高度与外围电路区中的高度的台阶  
25 差。由此, 在第 4 层间绝缘膜 205 上用光刻加工形成由铝等构成的布  
线层的情况下, 也可防止起因于第 4 层间绝缘膜 205 的上部表面的上  
述台阶差而导致该布线层的图形变得不清晰的情况。由此, 可防止上  
述布线层的断线、短路这样的缺陷的发生, 可得到这样一种半导体装  
置, 该半导体装置能在实现高集成化的同时确保电容器的电容, 而且  
30 具有高的可靠性。

该图 86 中示出的本发明的实施例 7 的 DRAM 的制造工序基本上与  
图 16 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序相

同，但在图 7 所示的制造工序中，在接触孔 49 的内部形成钛等高熔点金属膜 127 和钨膜 126。然后，在该钨膜 126 形成了抗蚀剂图形后，以该抗蚀剂图形为掩模，通过用刻蚀除去钨膜 126 和高熔点金属膜 127 的一部分，形成图 86 中示出的位线 174。然后，由于在该位线 174 上不形成氮化硅膜等布线保护绝缘膜，故在形成了第 2 层间绝缘膜 37 后，使该表面的平坦化变得更容易。

参照图 87，本发明的实施例 7 的 DRAM 的变形例基本上具备与图 86 中示出的本发明的实施例 7 的 DRAM 相同的结构。但是，在该图 87 示出的本发明的实施例 7 的 DRAM 的变形例中，在接触孔 49 的内部形成由掺磷多晶硅构成的栓 128。在该栓 128 上形成由钛等的高熔点金属膜 127 和钨膜 126 构成的位线 174。而且，将该位线 174 的宽度形成得比接触孔 49 的宽度小。通过这样来形成，可得到与图 86 示出的本发明的实施例 7 的 DRAM 相同的效果。

该图 87 中示出的本发明的实施例 7 的 DRAM 的变形例的制造工序基本上与图 86 中示出的本发明的实施例 7 的 DRAM 的制造工序相同。但是，形成该图 87 中示出的实施例 7 的 DRAM 的变形例的位线 174 的工序，首先在接触孔 49 的内部形成了由掺磷多晶硅构成的栓 128 后，形成位线 174。

#### (实施例 8)

本实施例 8 的 DRAM 的存储单元区的结构基本上与图 2 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的存储单元区的结构相同。此外，实施例 8 的 DRAM 的外围电路区的结构基本上与图 2 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的外围电路区的结构相同。但是，在该图 88 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 中，在外围电路区中，形成了用于连接在第 4 层间绝缘膜 205 上形成的布线层与电容器上部电极 151 的接触孔 135。此外，在位于接触孔 135 下的区域中形成了用于保护外围电路区中的场效应晶体管等的外围电路元件的虚设布线层 138。

这样，由于具备虚设布线层 138，在形成接触孔 135 的刻蚀中，即使在接触孔 135 穿过电容器上部电极 151 和电介质膜 150 并到达位于其下的第 3 层间绝缘膜 59 的情况下，也可在由掺杂多晶硅膜 52 和高熔点金属硅化物膜 53 构成的虚设布线层 138 中使该刻蚀的进行停止。其结果，可防止位于该虚设布线层 138 下的上述外围电路元件因

上述刻蚀而受到损伤。由此，可防止半导体装置因该外围电路元件的损伤而引起工作不良。其结果，可得到可靠性高的半导体装置。

5 该图 88 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的制造工序基本上与图 3~14 中示出的本发明的实施例 1 的 DRAM 的制造工序相同，但是，在与图 2 中示出的外围电路区中的布线层 202 相同的工序中形成虚设布线层 138。

10 参照图 89，本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 1 变形例基本上具备与图 88 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 相同的结构。但是，在该图 89 示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 1 变形例中，在外围电路区中，在位于接触孔 135 下的区域中没有形成外围电路区中的布线层和场效应晶体管等的外围电路元件。

由此，在用于形成接触孔 135 的刻蚀工序中，即使在接触孔 135 穿过电容器上部电极 151 等并到达位于其下的第 3 层间绝缘膜 59 的情况下，外围电路元件也不会因上述刻蚀而受到损伤。

15 该图 89 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序基本上与图 88 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的制造工序相同。但是，分别在平面上不重叠的区域中形成接触孔 135 和外围电路元件。

20 参照图 90，本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 2 变形例的存储单元区基本上具备与图 88 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 相同的结构。而且，在外围电路区中，通过除去第 3 层间绝缘膜 59 和氮化硅膜 58 的一部分，形成了开口部 303。在开口部 303 的内部，形成了由与存储单元区中的电容器下部电极 170a 相同的材料构成的虚设的电容器下部电极 140。在第 3 层间绝缘膜 59 上和虚设的电容器下部电极 140 上形成了电介质膜 150。在电介质膜 150 上形成了电容器上部电极 151。而且，接触孔 135 在虚设的电容器下部电极 140 的底部到达电容器上部电极 151。

30 这样，由于形成虚设的电容器下部电极 140，并在位于其上的区域中形成接触孔 135，故可使接触孔 135 的深度比图 88 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 中的接触孔 135 的深度深。由此，可缩短到达外围电路区中的布线层 202（参照图 2）的其它的接触孔（图中未示出）与本发明的实施例 8 的 DRAM 中的接触孔 135（参照图 90）的深

度的差。其结果，在用于形成接触孔 135 的刻蚀中，可防止在接触孔 135 的底部过分地刻蚀电容器上部电极 151。其结果，可防止该刻蚀穿过电容器上部电极 151 而到达其下的第 2 层间绝缘膜 37。

5 该图 90 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序基本上与图 89 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 1 变形例的制造工序相同，但通过形成存储单元区中的电容器下部电极 170a 的工序，与电容器下部电极 170a 同时地形成虚设的电容器下部电极 140。

10 参照图 91，本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 3 变形例基本上具备与图 90 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 2 变形例相同的结构。但是，在该图 91 示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 3 变形例中，减小虚设的电容器下部电极 140 的水平方向的宽度，使虚设的电容器下部电极 140 的内部的上部电极 151 的垂直方向的厚度比图 90 中示出的第 2 变形例要厚。在该垂直方向的厚度变厚的电容器上部电极 151 的上部形成了接触孔 135。

15 这样，由于加厚了位于接触孔 135 下的电容器上部电极 151 的垂直方向的厚度，故可防止在形成接触孔 135 的刻蚀时接触孔 135 穿过电容器上部电极 151 并到达第 2 层间绝缘膜 37。此外，通过调整开口部 303 的宽度和电容器上部电极 151 的膜厚，可任意地改变接触孔 20 135 的到达深度。

该图 91 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 3 变形例的制造工序基本上与图 90 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的第 2 变形例的制造工序相同。

25 在这里，为了得到这样一种半导体装置，该半导体装置能在实现高集成化的同时确保电容器的电容，而且具有高的可靠性，对于存储单元区及外围电路区中使用的布线，也要求电阻和电容更低的布线。

30 参照图 118，关于现有的布线是这样的，在半导体衬底 1001 的主表面上形成氮化硅膜 1002。在氮化硅膜 1002 上形成非掺杂氧化硅膜 1143。通过除去非掺杂氧化硅膜 1143 和氮化硅膜 1002 的一部分，形成开口部 1003。在开口部 1003 的内部形成由多晶硅构成的布线 1005。

以下，参照图 119 和 120，说明现有的布线的制造工序。

首先，在半导体衬底 1001 的主表面上形成氮化硅膜 1002（参照图 119）。氮化硅膜 1002 也可以是氮氧化硅膜或具有氮化硅膜和氮氧化硅膜的层叠结构。在氮化硅膜 1002 上形成非掺杂氧化硅膜 1143（参照图 119）。该非掺杂氧化硅膜 1143 也可以是掺磷或硼的氧化硅膜。在该非掺杂氧化硅膜 1143 上形成了抗蚀剂图形（图中未示出）后，以该抗蚀剂图形为掩模，通过除去非掺杂氧化硅膜 1143 和氮化硅膜 1002 的一部分，形成开口部 1003（参照图 119）。通过这样做，得到图 119 中示出的结构。

其次，如图 120 所示，在非掺杂氧化硅膜 1143 和开口部 1003 的内部形成多晶硅膜 1004。该多晶硅膜 1004 也可以使用非晶硅。此外，可以掺磷或砷，也可以不掺杂。此外，可以使用钨或钛等高熔点金属膜，也可以使用上述高熔点金属的硅化物。此外，可以使用铜或铝这样的金属膜，也可以使用层叠了这些金属膜的结构。

其后，通过使用刻蚀或 CMP 法除去位于非掺杂氧化硅膜 1143 上的多晶硅膜 1004，得到图 118 中示出的结构。

此外，作为以往提出的布线的结构的另一例，可举出图 121 中示出的例子。参照图 121，以往提出的的另一种布线是这样的，在半导体衬底 1001 的主表面上形成氮化硅膜 1002。在氮化硅膜 1002 上形成非掺杂氧化硅膜 1143。通过除去非掺杂氧化硅膜 1143 和氮化硅膜 1002 的一部分，形成开口部 1003。在开口部 1003 的内部形成由多晶硅构成的布线 1015。在布线 1015 的表面上形成粒状结晶 1016。这样，由于在布线 1015 的表面上形成粒状结晶 1016，可使布线 1015 的电阻下降。

以下，参照图 122 - 124，说明以往提出的另一种布线的制造工序。

在半导体衬底 1001（参照图 122）的主表面上形成氮化硅膜 1002（参照图 122）。在氮化硅膜 1002 上形成非掺杂氧化硅膜 1143（参照图 122）。在该非掺杂氧化硅膜 1143 上形成了抗蚀剂图形（图中未示出）后，以该抗蚀剂图形为掩模，通过用刻蚀除去非掺杂氧化硅膜 1143 和氮化硅膜 1002 的一部分，形成开口部 1003（参照图 122）。其后，除去抗蚀剂图形。通过这样做，得到图 122 中示出的结构。

其次，如图 123 所示，在开口部 1003 的内部和非掺杂氧化硅膜 1143 上形成由多晶硅构成的导电体膜 1014。



其次,通过刻蚀除去位于非掺杂氧化硅膜 1143 上的导电体膜 1014 的一部分,得到图 124 中示出的结构。其后,在布线 1015 的表面上通过与本发明的实施例 1 的变形例中使用的工序相同的工序形成粒状结晶 1016(参照图 121)。通过这样做,得到图 121 中示出的结构。

5 这样,虽然在以往也提出了低电阻的布线,但随着半导体装置的微细化,即使在以往提出的布线中,因布线电阻的上升而引起的延迟等器件特性恶化也逐渐成为问题。因此,要求布线的进一步的低电阻化和低电容化。而且,为了得到满足这样的要求的布线,可应用本发明中适用于电容器下部电极的形狀的结构。以下,说明基于这样的考虑的本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的变形例。

10 参照图 92,本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 1 变形例是这样的,在半导体衬底 1 的主表面上形成氮化硅膜 2。在氮化硅膜 2 上形成非掺杂氧化硅膜 143。形成由多晶硅构成的布线 5,使其处于部分地埋入于非掺杂氧化硅膜 143 和氮化硅膜 2 中的状态。在布线 5 的内侧表面和外侧表面上形成粒状结晶 9。

这样,由于这样来形成布线 5,使其延伸到比非掺杂氧化硅膜 143 的上部表面靠上的上方,故即使布线 5 的占有面积小,也能增大布线 5 的剖面面积。因此,可降低布线 5 的电阻。此外,由于在布线 5 的表面上形成了粒状结晶 9,故可得到电阻更低的布线。

20 以下,参照图 93~96,说明本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 1 变形例的制造工序。

首先,在半导体衬底 1(参照图 93)的主表面上形成氮化硅膜 2(参照图 93)。在氮化硅膜 2 上形成非掺杂氧化硅膜 143(参照图 93)。在非掺杂氧化硅膜 143 上形成掺硼氧化硅膜 6(参照图 93)。在掺硼氧化硅膜 6 上形成了抗蚀剂图形(图中未示出)后,以该抗蚀剂图形为掩模,通过用各向异性刻蚀除去掺硼氧化硅膜 6、非掺杂氧化硅膜 143 和氮化硅膜 2 的一部分。由此,形成开口部 3(参照图 93)。其后,通过除去抗蚀剂图形,得到图 93 中示出的结构。

其次,如图 94 所示,在掺硼氧化硅膜 6 上和开口部 3 的内部形成多晶硅膜 4。

其次,通过用刻蚀或 CMP 法除去位于掺硼氧化硅膜 6 上的多晶硅膜 4,得到图 95 中示出的结构。

其次，通过用刻蚀除去掺硼氧化硅膜 6，得到图 96 中示出的结构。

其后，应用在本发明的实施例 1 的变形例中使用的工序，通过在布线 5 的表面上形成粒状结晶 9（参照图 92），得到图 92 中示出的结构。

5 以下，参照图 97~100，说明本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 1 变形例的制造工序的变形例。

在半导体衬底 1（参照图 97）上形成氮化硅膜 2（参照图 97）。

10 在氮化硅膜 2 上形成非掺杂氧化硅膜 143（参照图 97）。在非掺杂氧化硅膜 143 上形成了抗蚀剂图形（图中未示出）后，以该抗蚀剂图形为掩模，通过用各向异性刻蚀除去非掺杂氧化硅膜 143 和氮化硅膜 2 的一部分。由此，形成开口部 3（参照图 97）。通过这样做，得到图 97 中示出的结构。

其次，在非掺杂氧化硅膜 143 上和开口部 3 的内部形成多晶硅膜 4（参照图 98）。通过这样做，得到图 98 中示出的结构。

15 其次，通过用刻蚀或 CMP 法除去位于非掺杂氧化硅膜 143 上的多晶硅膜 4，得到图 99 中示出的结构。在这里，在开口部 3 的内部形成了布线 5。

其次，如图 100 中所示，利用 HF 水溶液的湿法刻蚀，除去非掺杂氧化硅膜 143 上部的一部分。此时，通过改变向 HF 水溶液中的浸泡  
20 时间，可控制除去非掺杂氧化硅膜 143 的量。

其后，通过在布线 5 的表面上形成粒状结晶 9，得到图 92 中示出的结构。

参照图 101，本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 2 变形例是这样的，在半导体衬底 1 的主表面上形成氮化硅膜 2。在氮化硅膜 2 上  
25 形成非掺杂氧化硅膜 143。形成由多晶硅构成的布线 15，使其处于部分地埋入于非掺杂氧化硅膜 143 和氮化硅膜 2 中的状态。在由多晶硅构成的布线 15 的侧面形成侧壁 23。这样，由于布线 15 具备由多晶硅构成的侧壁 23，故可增大布线的剖面面积。因此，可使布线进一步低电阻化。

30 以下，参照图 102~104，说明本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 2 变形例的制造工序。

首先，在实施了图 93 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线

的第1变形例的制造工序后，在掺硼氧化硅膜6（参照图102）上和开口部3（参照图93）的内部形成多晶硅膜（图中未示出）。其后，通过除去位于掺硼氧化硅膜6上的多晶硅膜，形成图102中示出的布线15。

5 其次，通过用刻蚀除去掺硼氧化硅膜6，得到图103中示出的结构。由此，可露出布线15的侧面的一部分25。

其次，如图104所示，形成多晶硅膜24，使其覆盖整个表面。

其后，通过用各向异性刻蚀除去多晶硅膜24的一部分，得到图101中示出的结构。

10 参照图105，本发明的实施例8的DRAM的布线的第3变形例基本上具备与图101中示出的本发明的实施例8的DRAM的第2变形例相同的结构。但是，在该图105中示出的第3变形例中，布线304由非晶硅构成。此外，也用非晶硅构成侧壁23，在布线304和侧壁23的表面上形成了粒状结晶26。这样，由于在布线304和侧壁23的表面上具备粒状结晶，故可谋求布线的进一步的低电阻化。

此外，作为本发明的实施例8的DRAM的布线的第3变形例的制造工序，在实施了图102~104中示出的制造工序后，通过实施在本发明的实施例1的变形例中实施的粒状结晶的形成工序，可得到图105中示出的结构。

20 参照图106，本发明的实施例8的DRAM的布线的第4变形例基本上具备与图105中示出的第3变形例相同的结构。但是，在该图106中示出的第4变形例中，用多晶硅构成布线15，在由非晶硅构成的侧壁23的表面上形成了粒状结晶26。此外，在布线15的上部表面上形成了比粒状结晶26小的粒状结晶35。通过这样来构成，可得到与本发明的实施例8的DRAM的布线的第3变形例相同的效果。

25 参照图107，本发明的实施例8的DRAM的布线的第5变形例是这样的，在半导体衬底1的主表面上形成氮化硅膜2。在氮化硅膜2上形成非掺杂氧化硅膜143。形成由多晶硅构成的布线30，使其处于埋入于非掺杂氧化硅膜143和氮化硅膜2中的状态。在布线30、非掺杂氧化硅膜143和氮化硅膜2之间形成空隙33。然后，形成氧化硅膜32，使其覆盖整个表面。这样，由于在布线30的侧面具备空隙33，故可降低布线30的寄生电容。由此，可防止因存在寄生电容而产生

的半导体元件的存取时间的延迟，可防止器件的电特性的恶化。

以下，参照图 108~112，说明本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 5 变形例的制造工序。

首先，在半导体衬底 1（参照图 108）的主表面上形成氮化硅膜 2（参照图 108）。在氮化硅膜 2 上形成非掺杂氧化硅膜 143（参照图 108）。在非掺杂氧化硅膜 143 上形成了抗蚀剂图形（图中未示出）后，以该抗蚀剂图形为掩模，通过用刻蚀除去非掺杂氧化硅膜 143 和氮化硅膜 2 的一部分，形成开口部 3（参照图 108）。通过这样做，得到图 108 中示出的结构。

其次，在非掺杂氧化硅膜 143 上和开口部 3 的内部形成氮化硅膜等的绝缘膜 27（参照图 109）。通过这样做，得到图 109 中示出的结构。

其次，使用各向异性刻蚀，通过除去绝缘膜 27 的一部分在开口部 3 的内部形成侧壁 28（参照图 110）。然后，如图 110 所示，在非掺杂氧化硅膜 143 上和开口部 3 的内部形成多晶硅膜 29。

其次，通过用各向异性刻蚀或 CMP 法除去位于非掺杂氧化硅膜 143 上的多晶硅膜 29 的一部分，得到图 111 中示出的结构。

其次，如图 112 所示，用刻蚀有选择地除去侧壁 28（参照图 111）。由此，在布线 30 的侧面形成空隙 33。

其后，通过形成覆盖率差的氧化硅膜 32（参照图 107）使其覆盖整个表面，形成图 107 中示出的结构。

参照图 113，本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 6 变形例基本上具备与图 107 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 5 变形例相同的结构。但是，在该图 113 中示出的第 6 变形例中，成为侧壁 28 的一部分残留于空隙 33 之下的状态。即使这样来构成，也能得到与图 107 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 5 变形例相同的效果。

此外，该图 113 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 6 变形例的制造工序基本上具备与图 108~112 中示出的本发明的实施例 8 的 DRAM 的布线的第 5 变形例的制造工序相同。但是，在图 112 中示出的工序中，不全部除去存在于布线 30 的侧面的侧壁 28，使其一部分残留下来。

再有，也可将该布线的第 1 ~ 第 6 变形例应用于本发明的实施例 1 ~ 7。

# 说明书附图

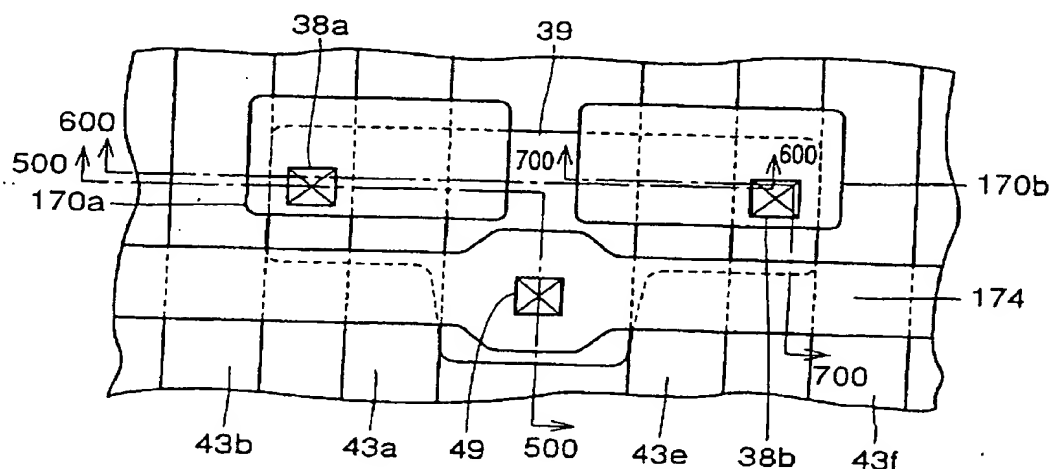


图 1

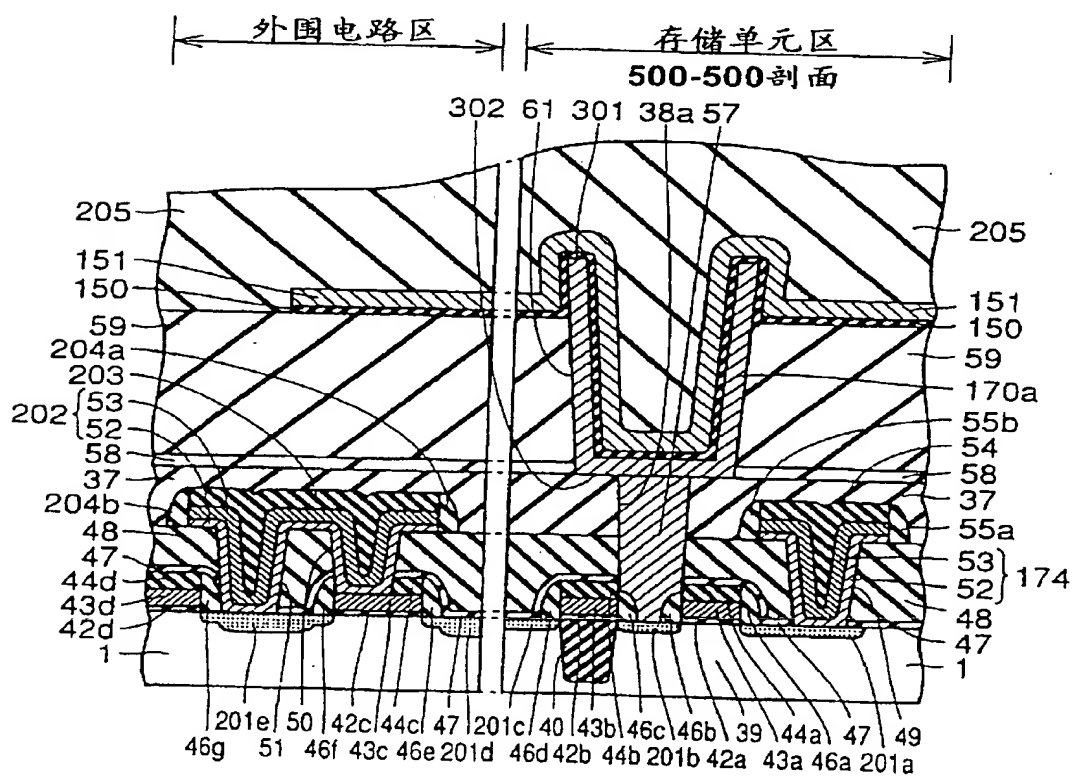


图 2

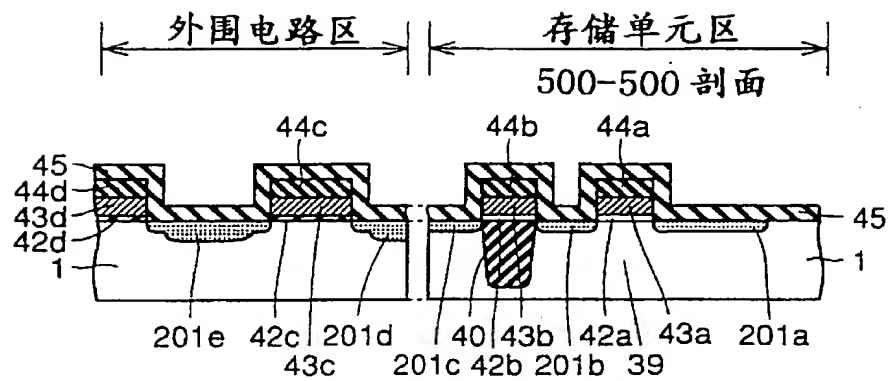


图 3

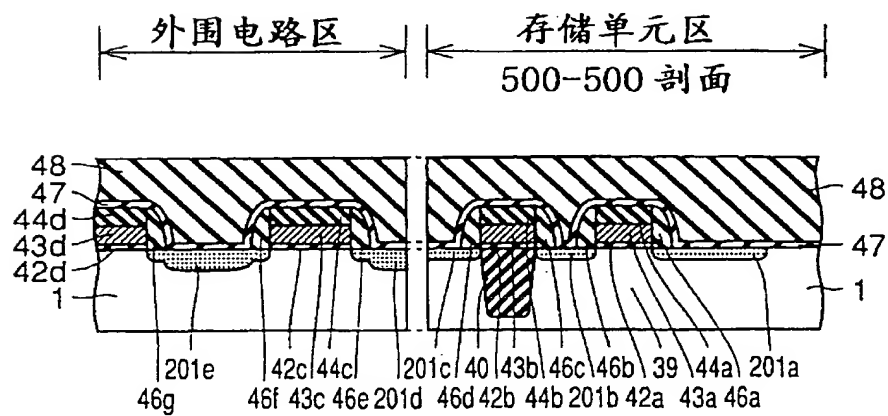


图 4

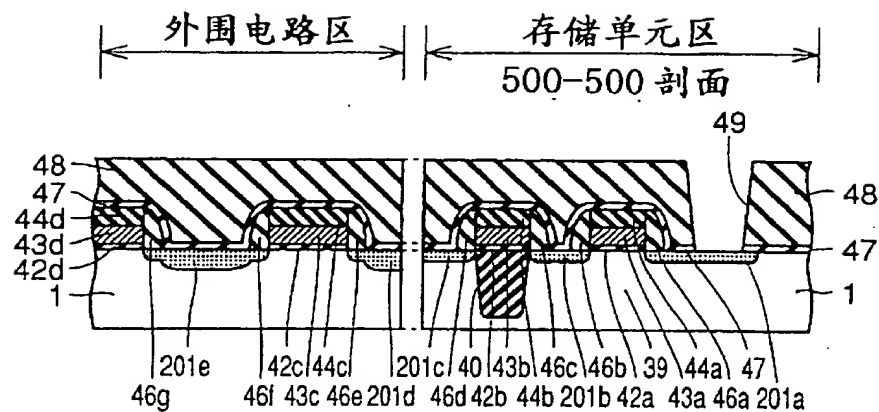


图 5

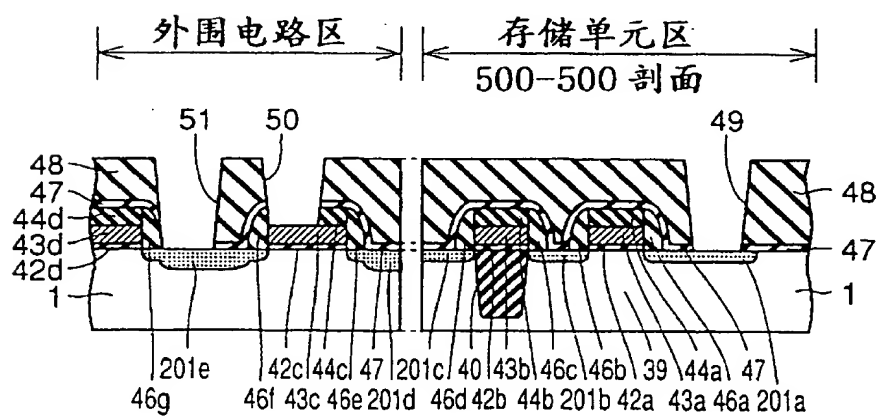


图 6



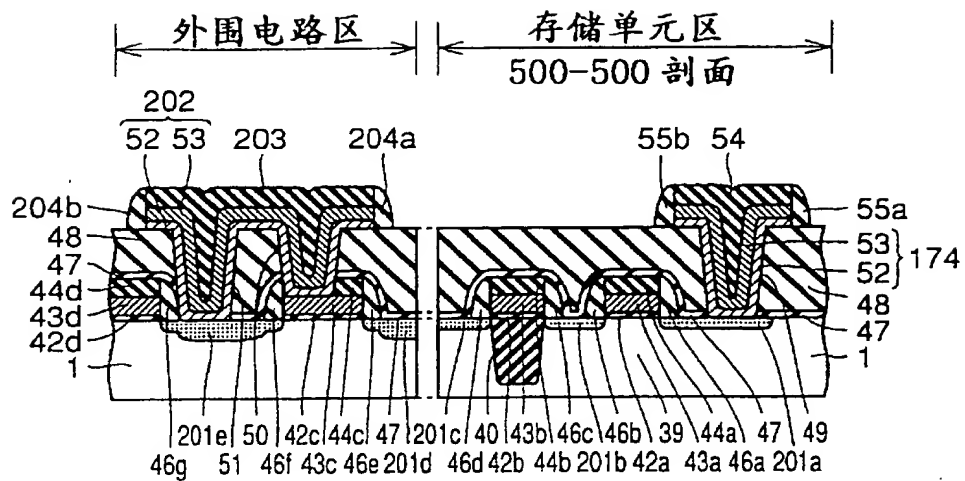


图 7

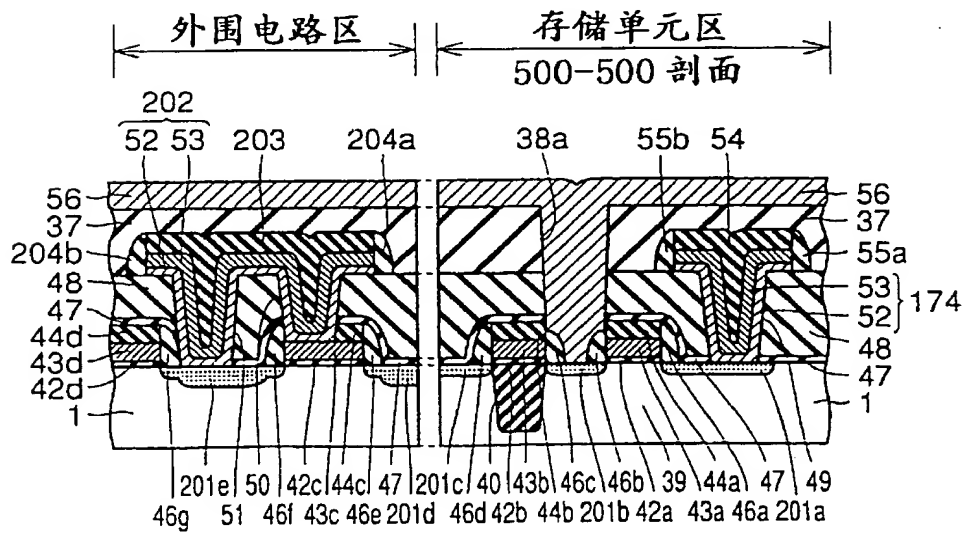


图 8

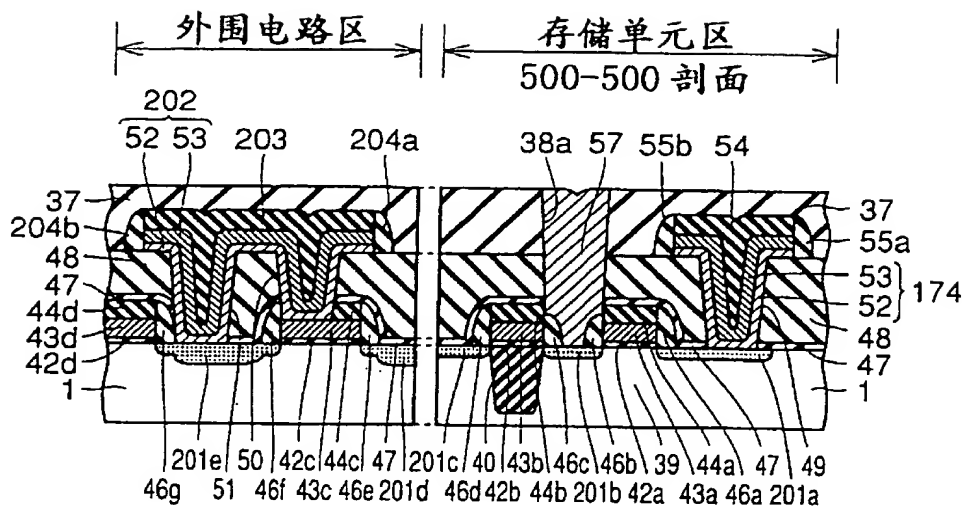


图 9

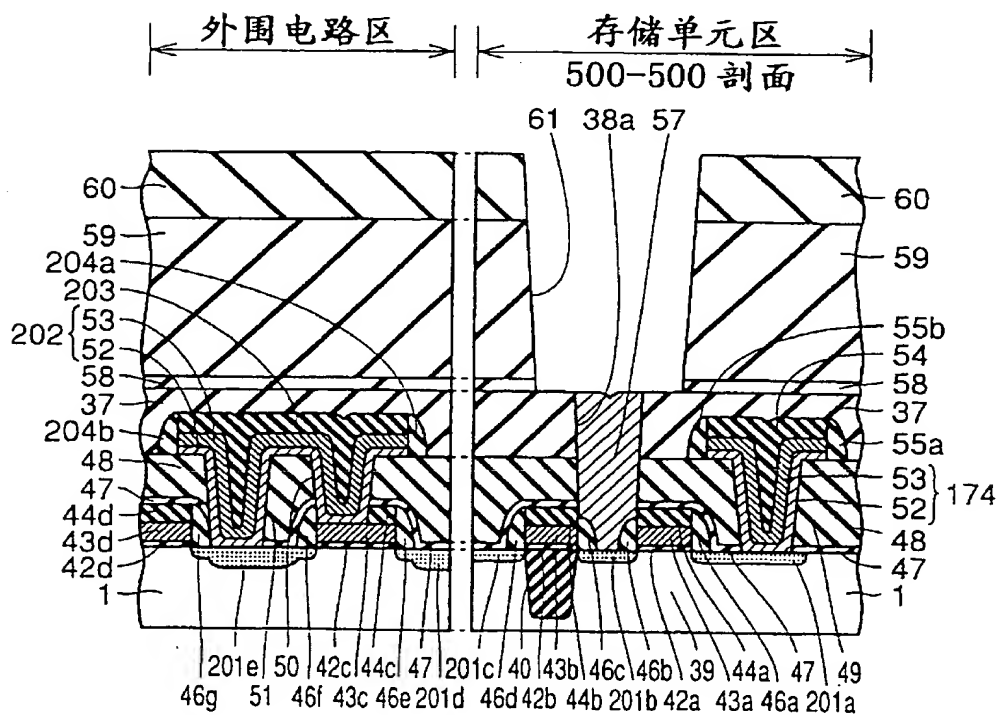


图 10

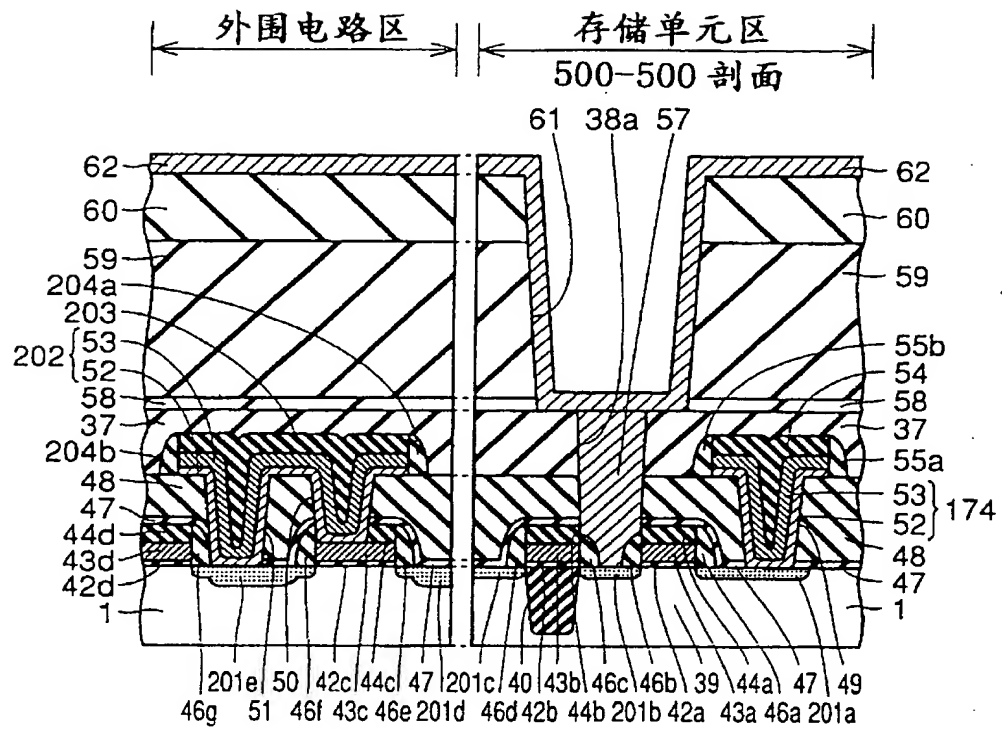


图 11

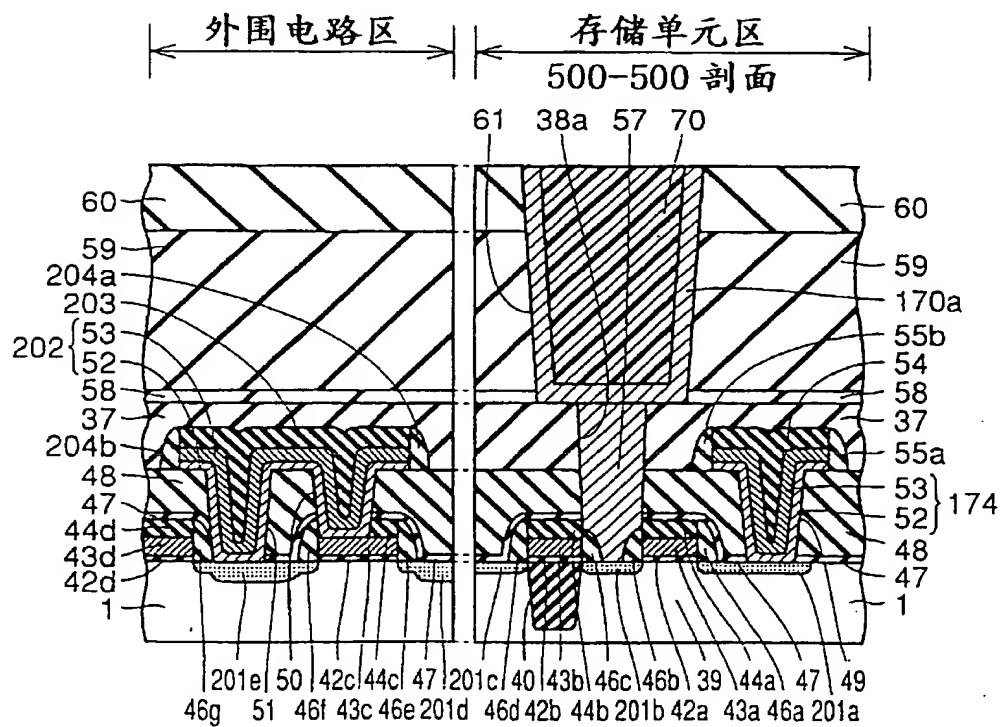


图 12

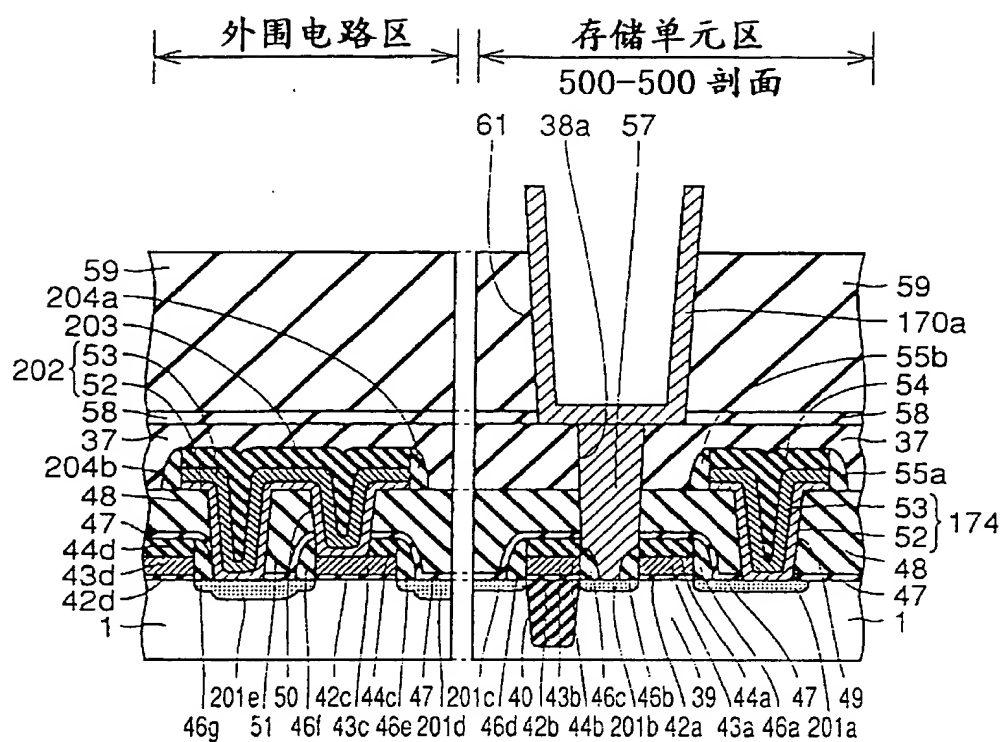


图 13

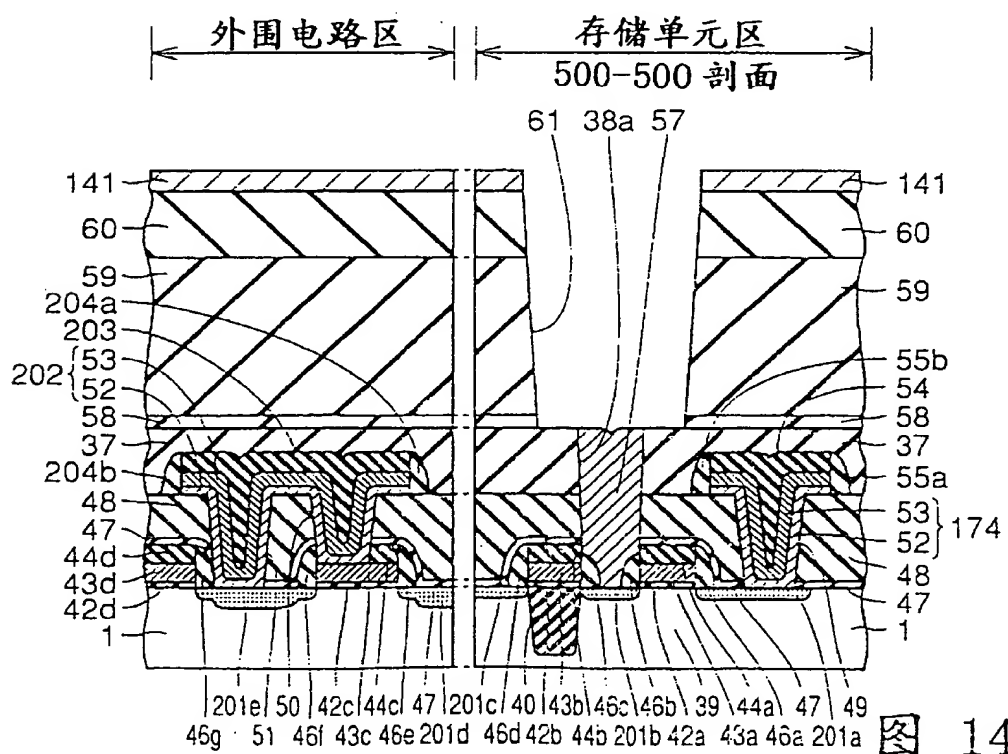


图 14

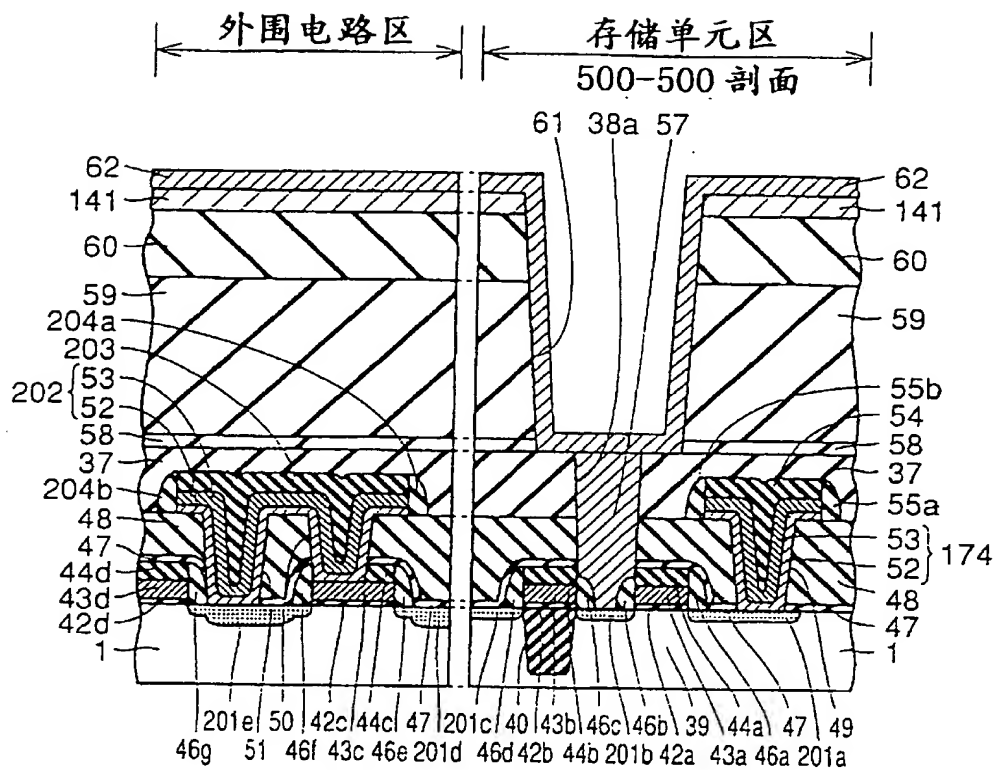


图 15

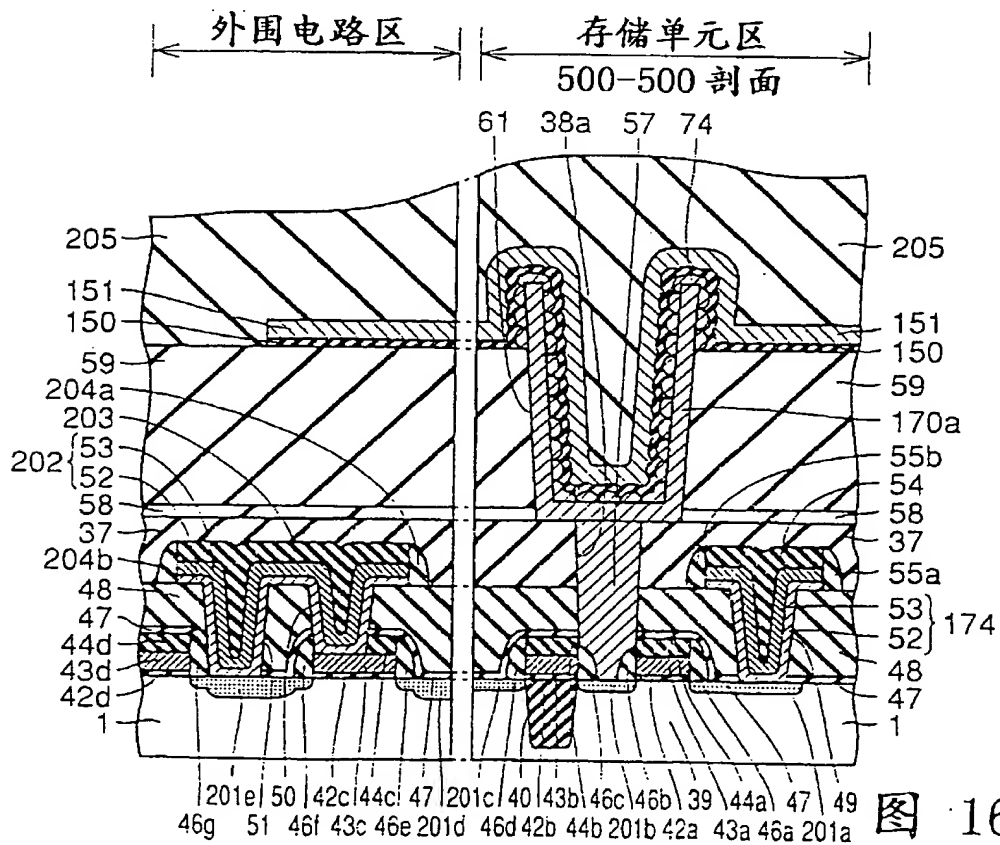


图 16

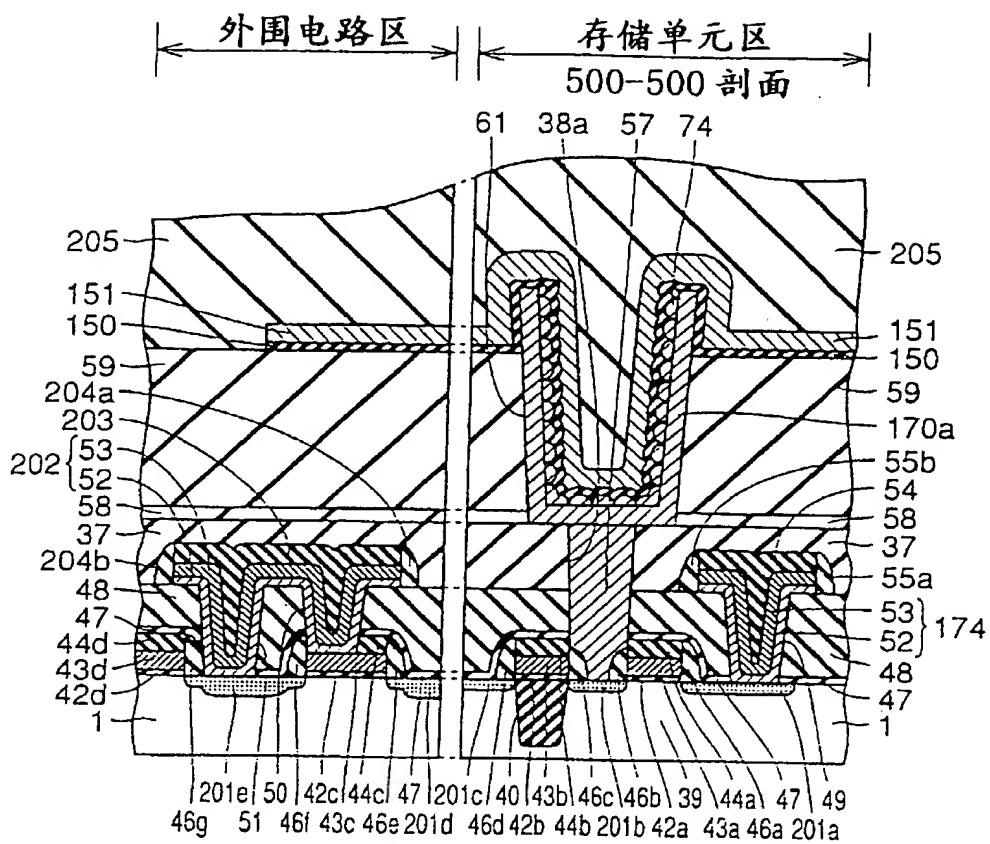


图 17

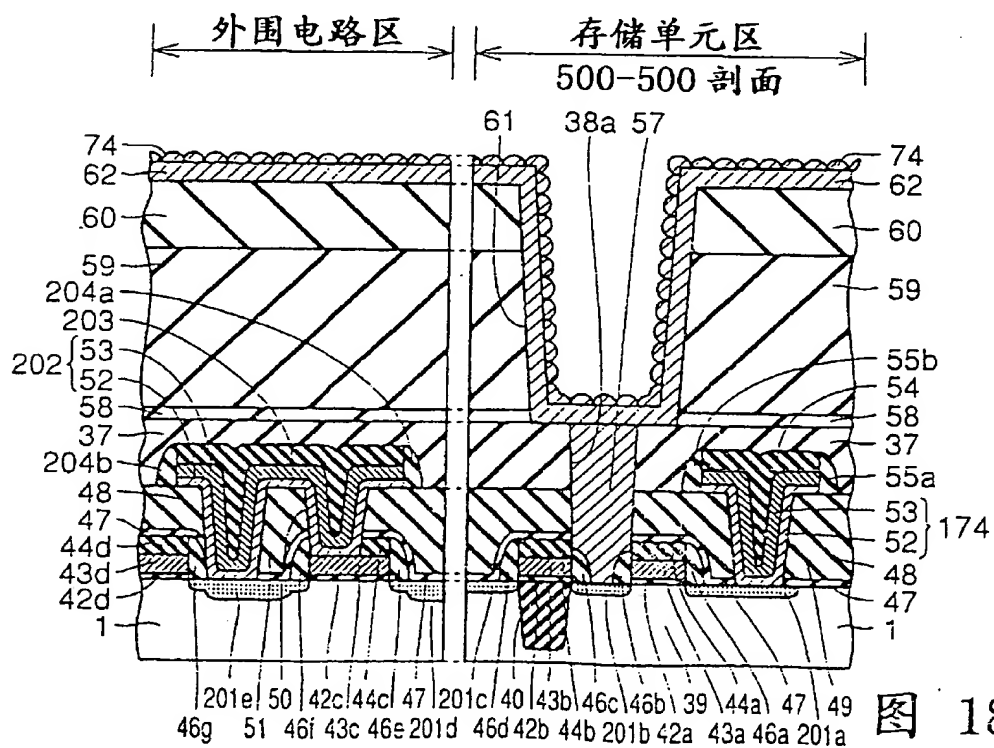


图 18

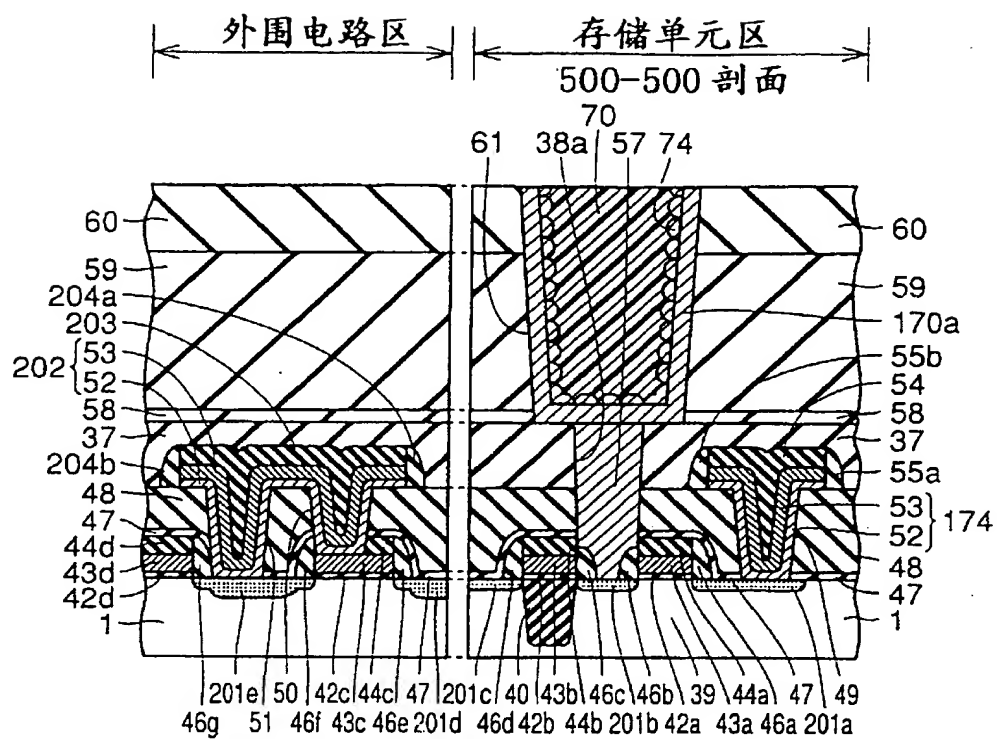


图 19

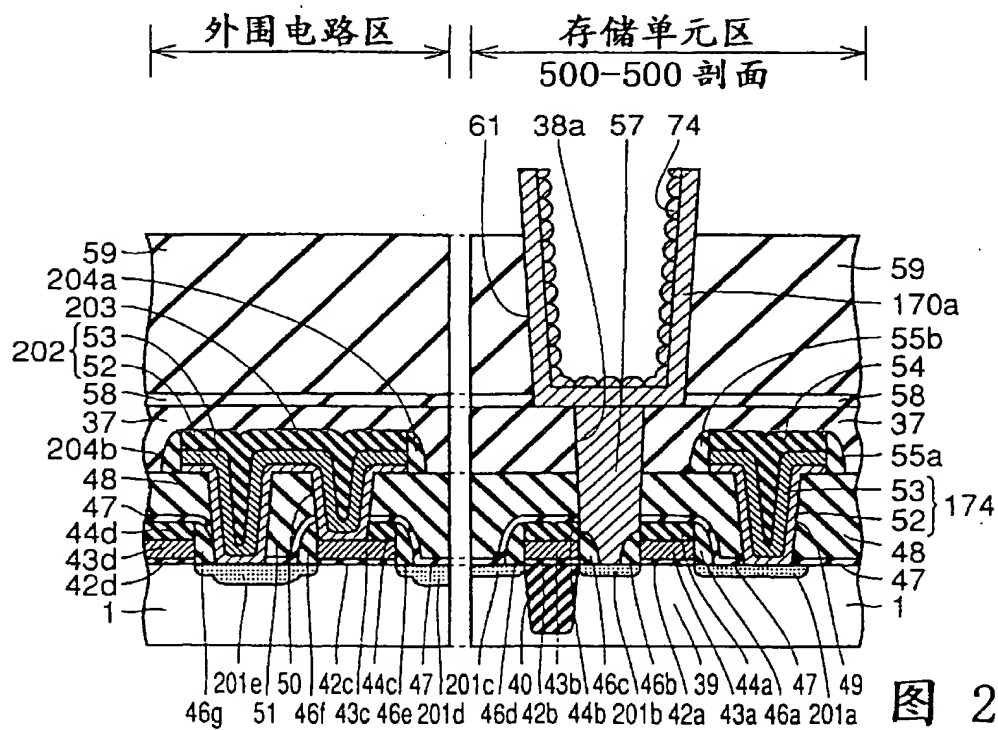


图 20

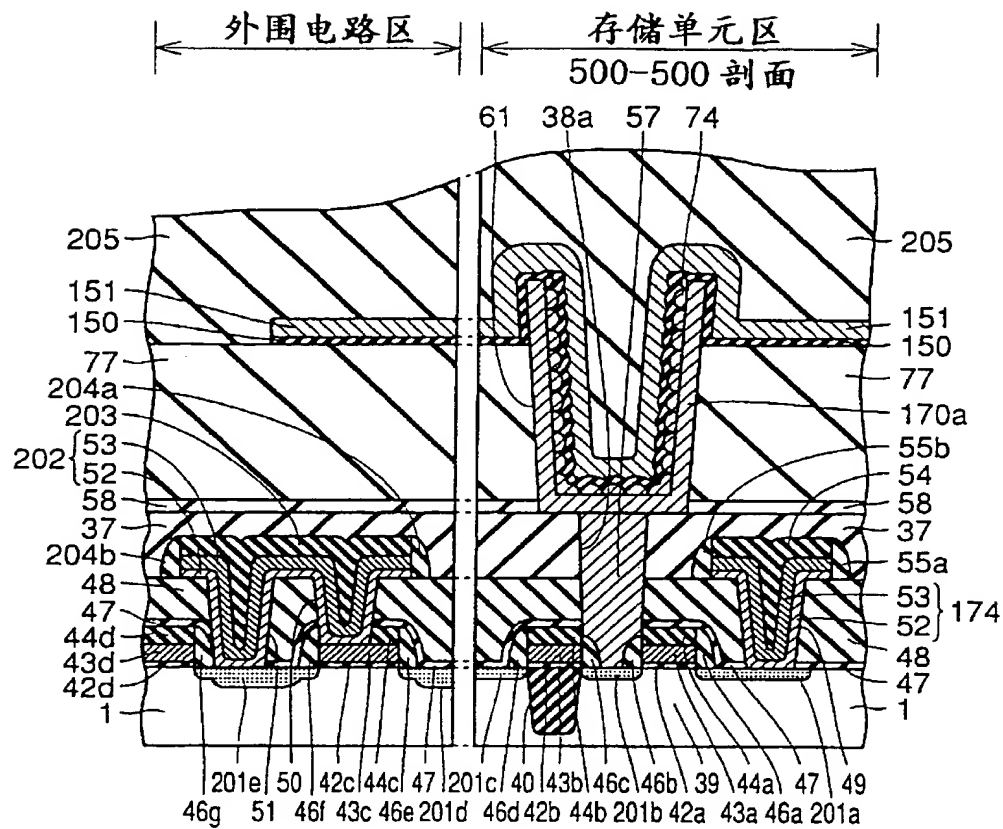


图 21



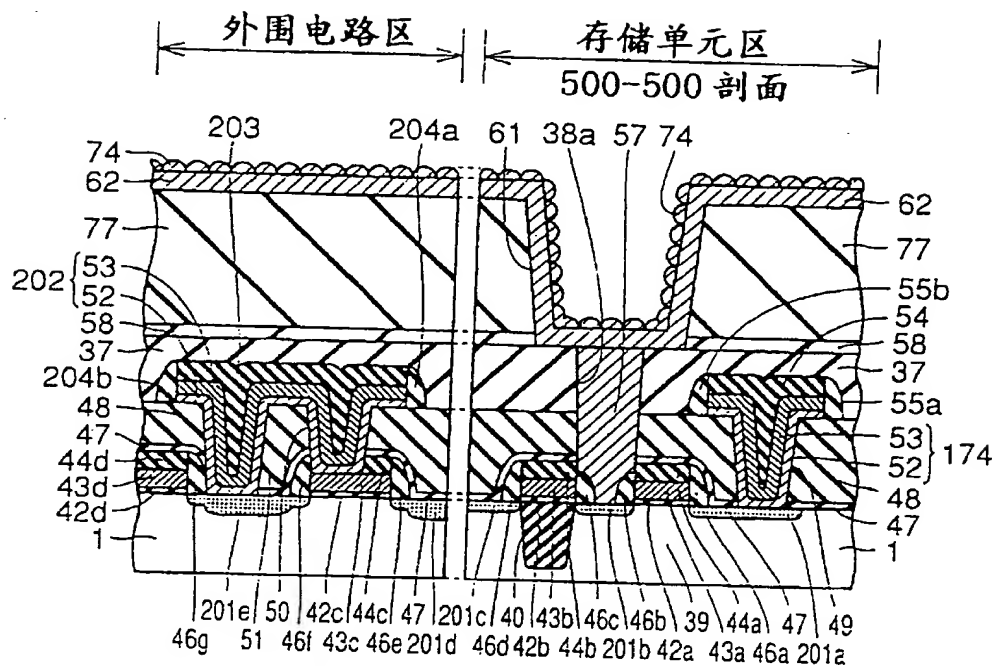


图 22

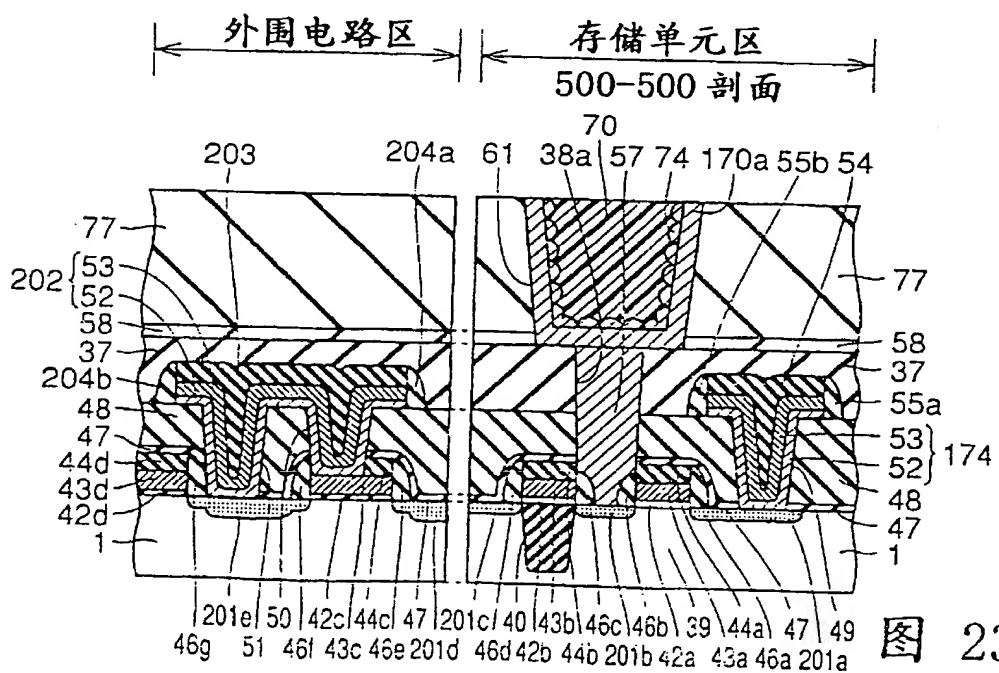


图 23

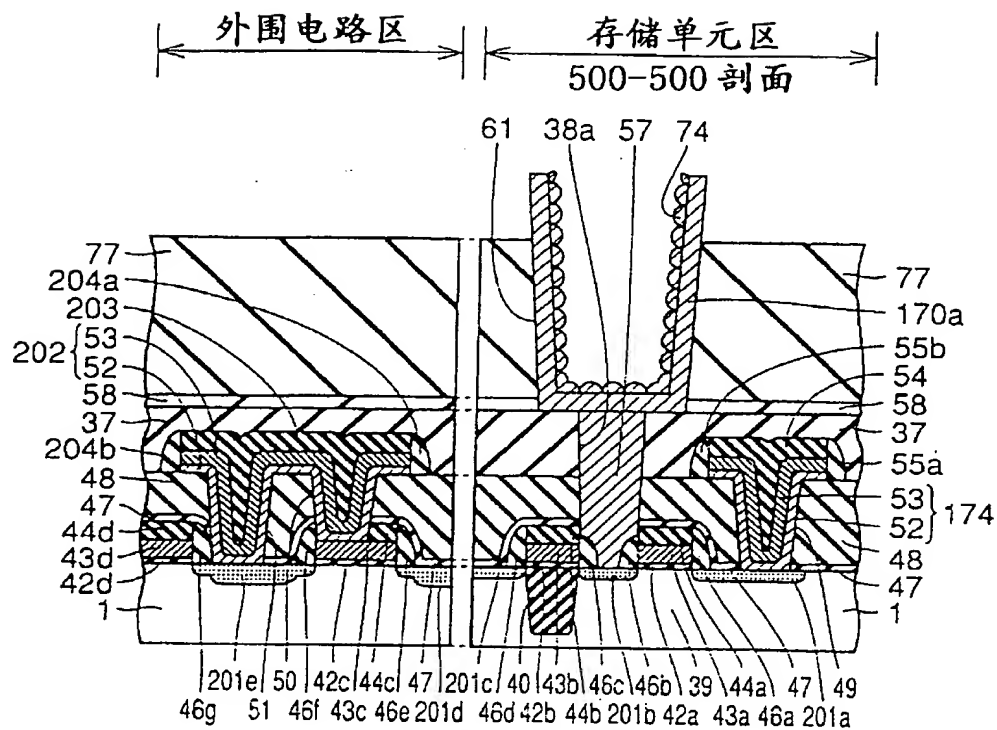


图 24

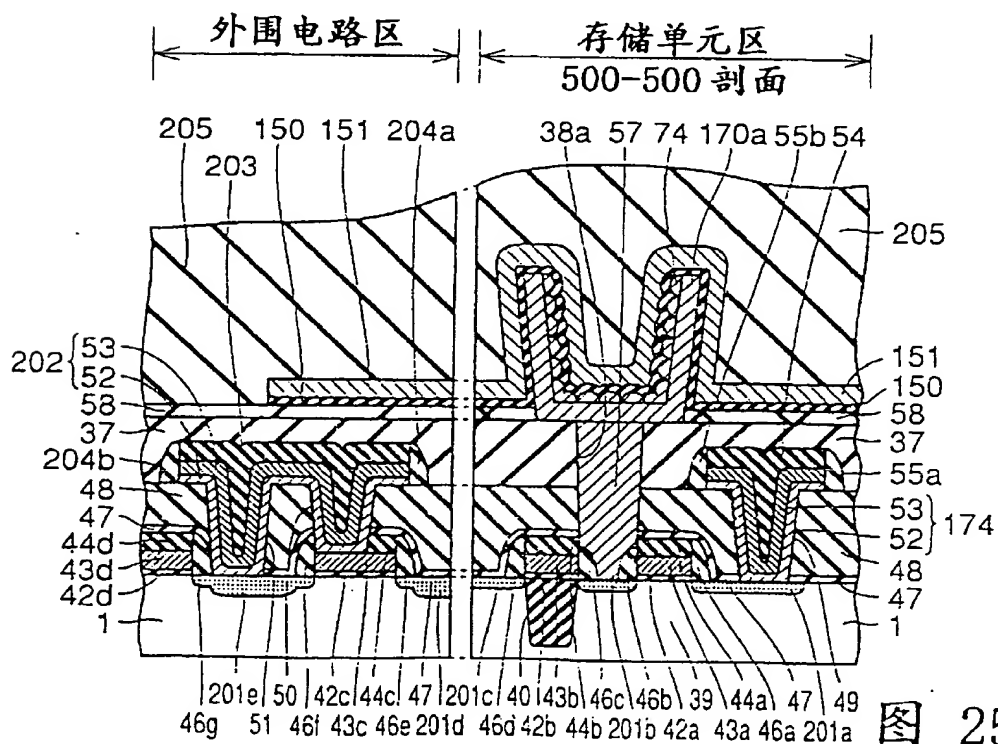


图 25

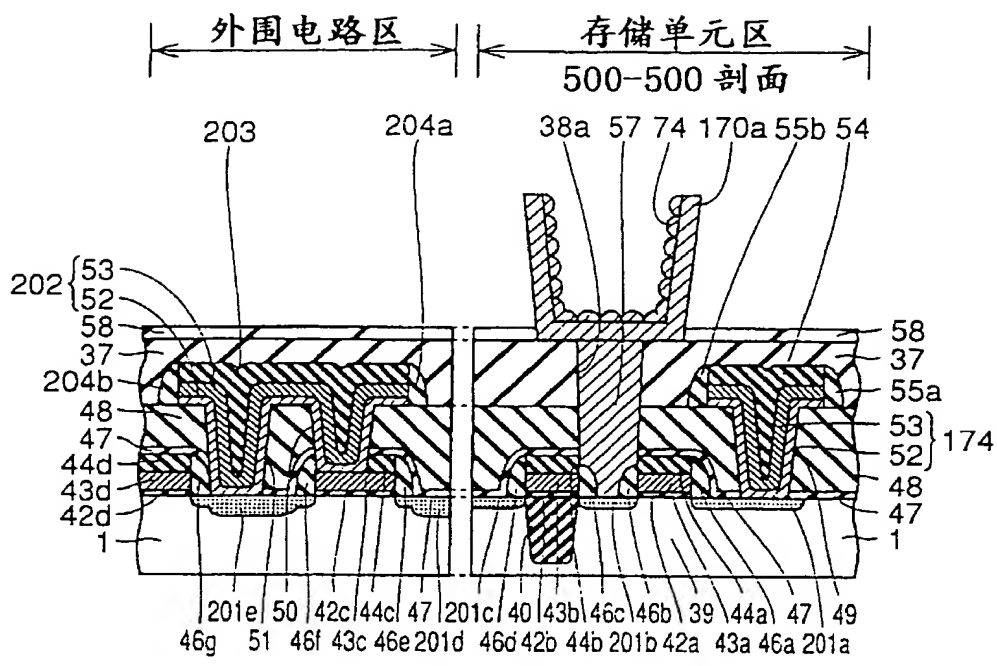


图 26

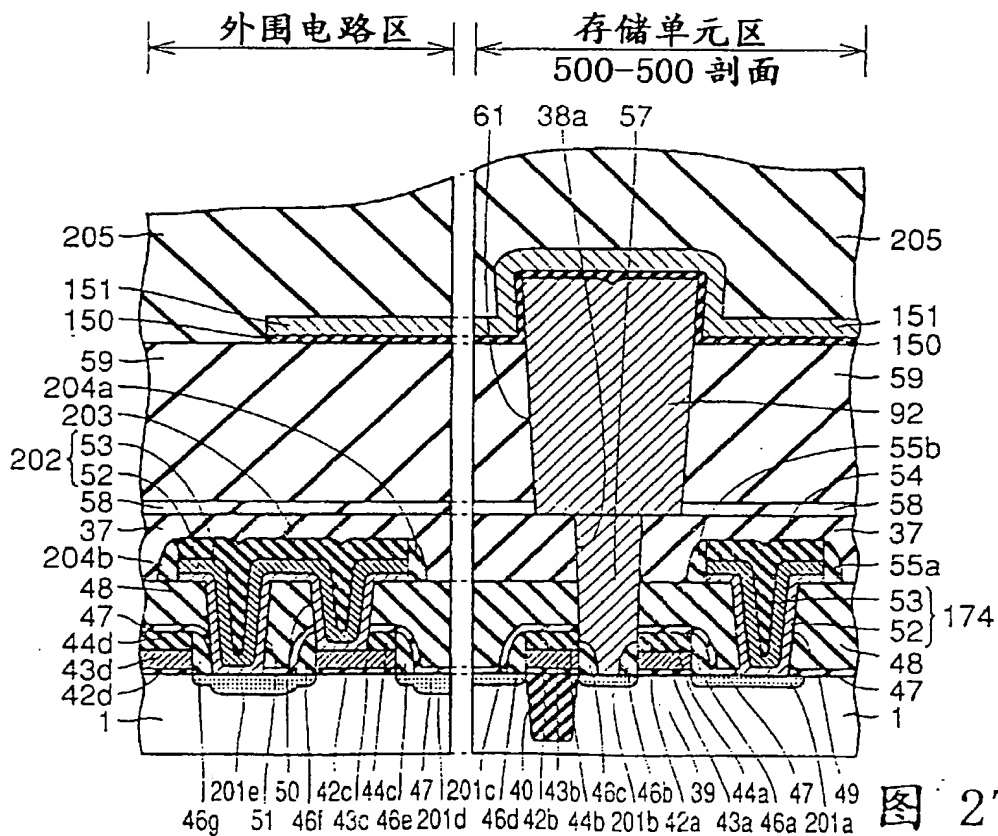


图 27

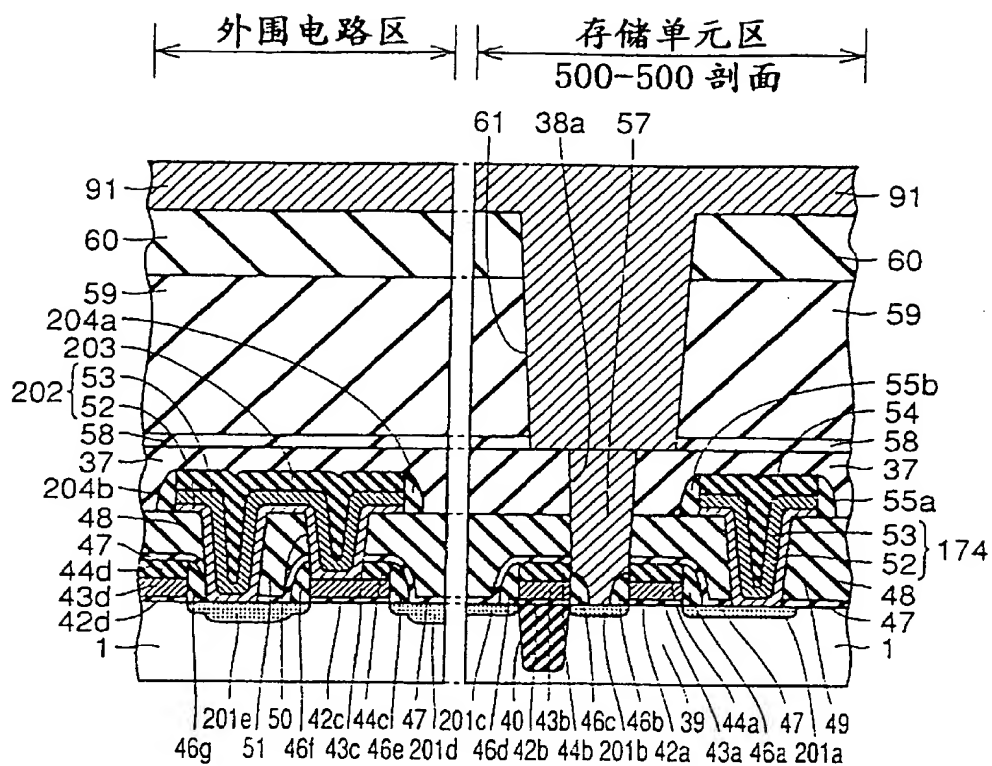


图 28

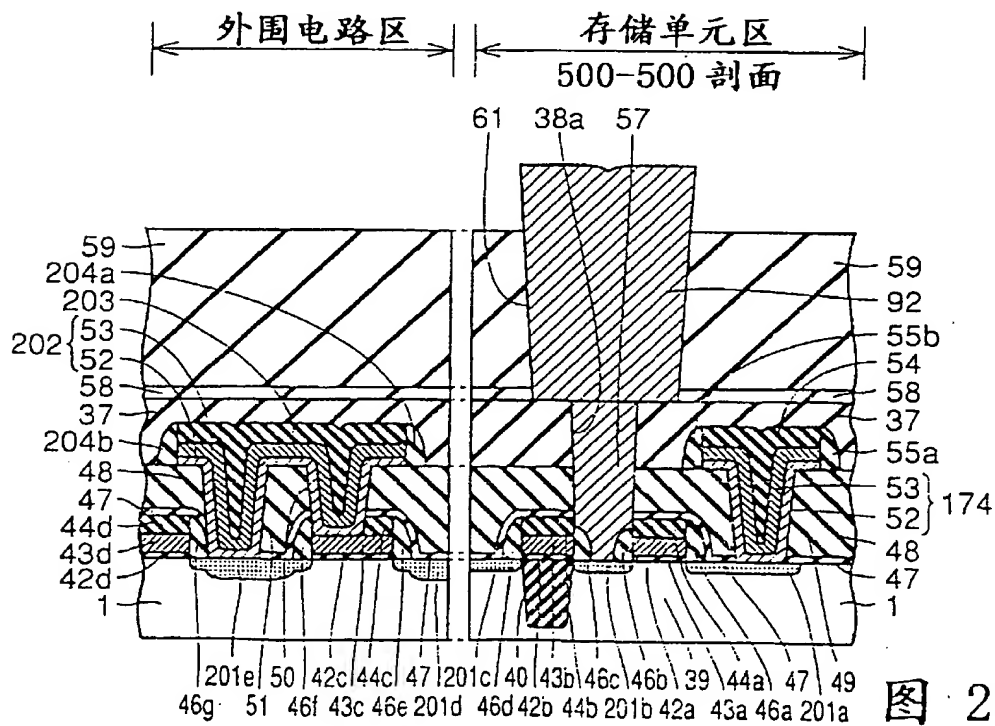


图 29

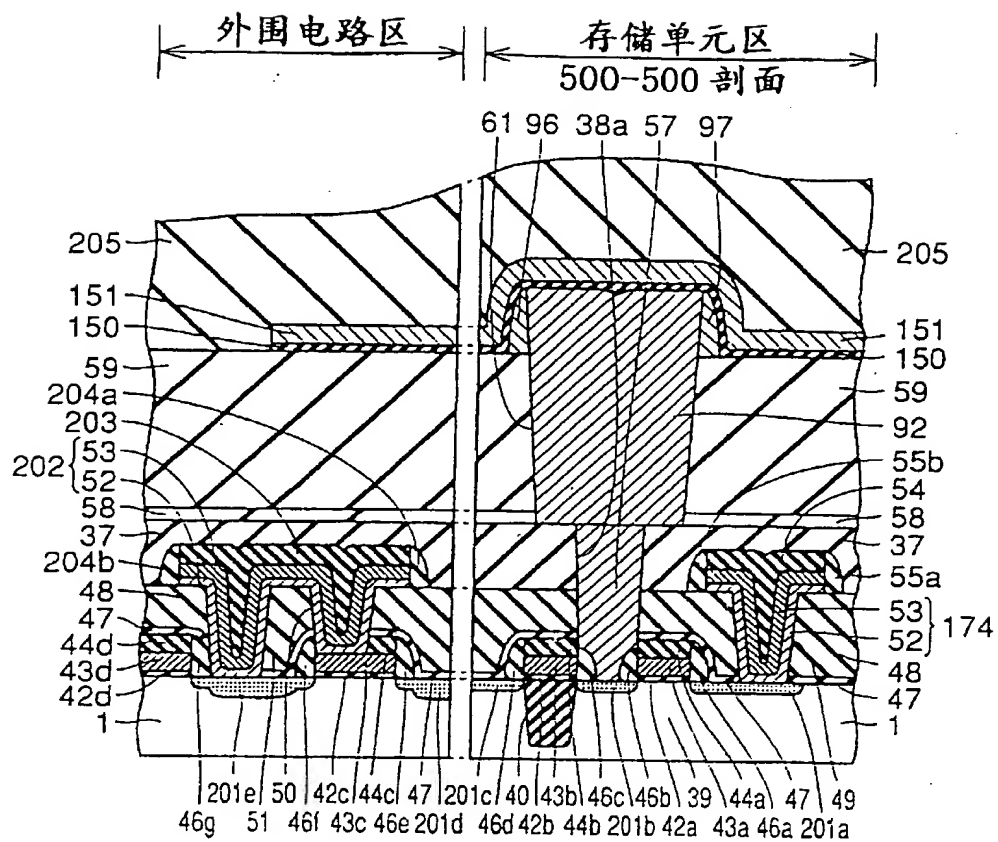


图 30

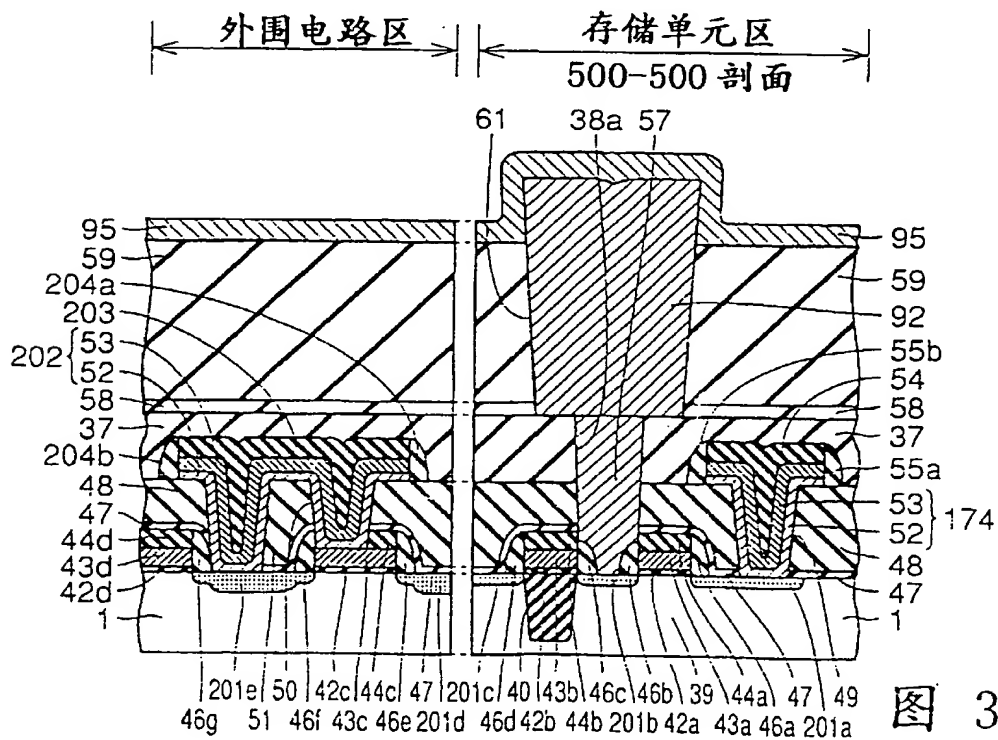


图 31

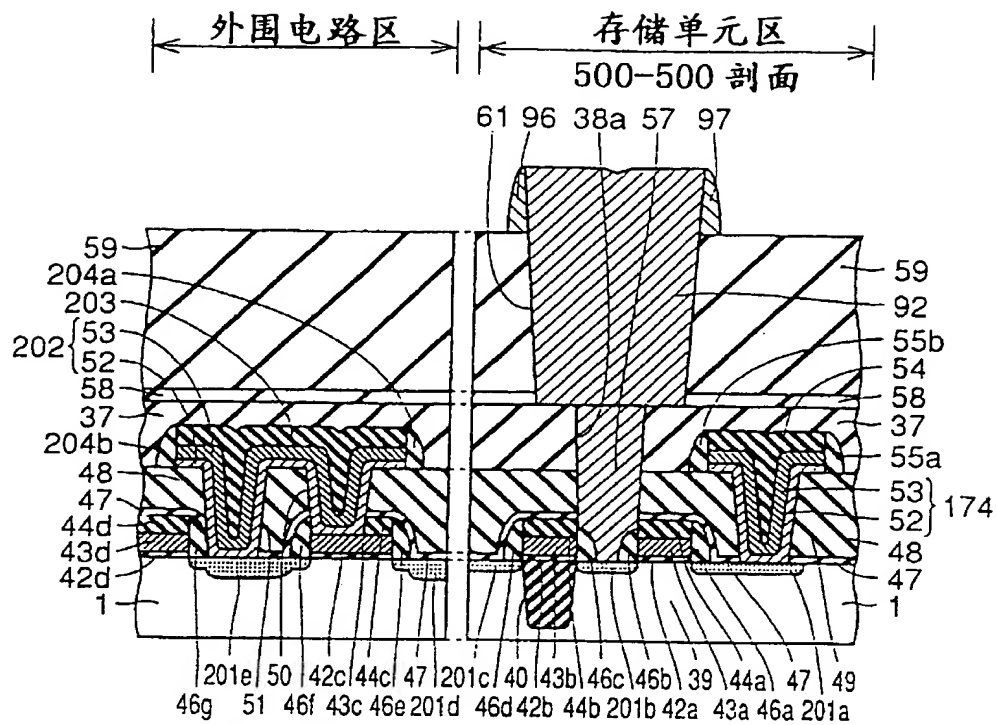


图 32

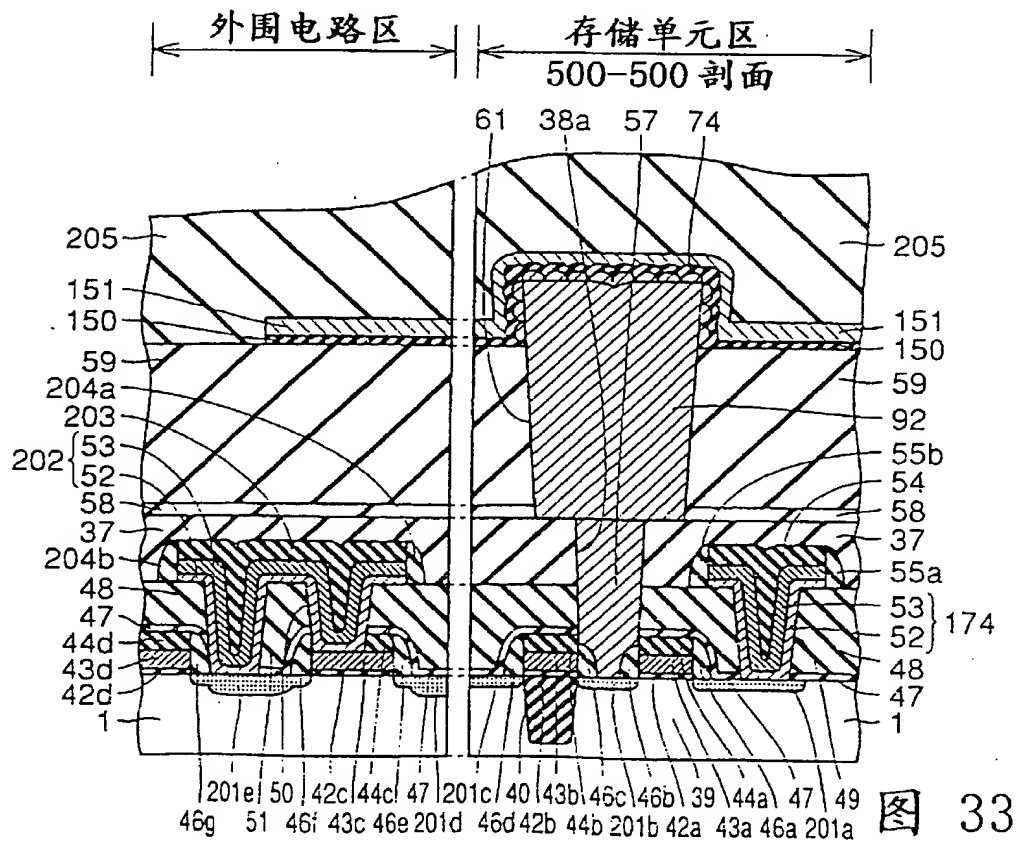


图 33

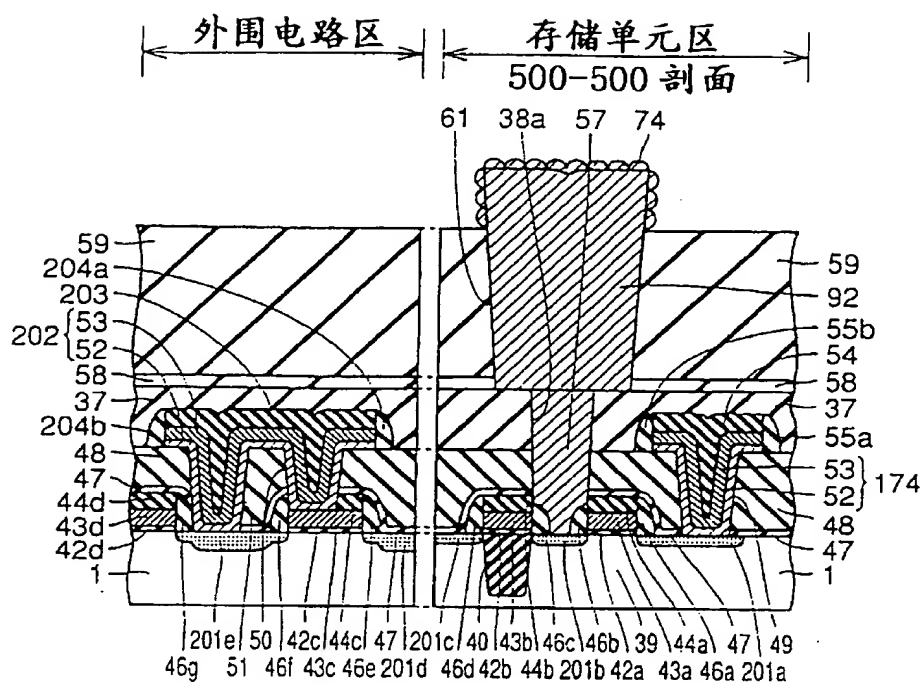


图 34

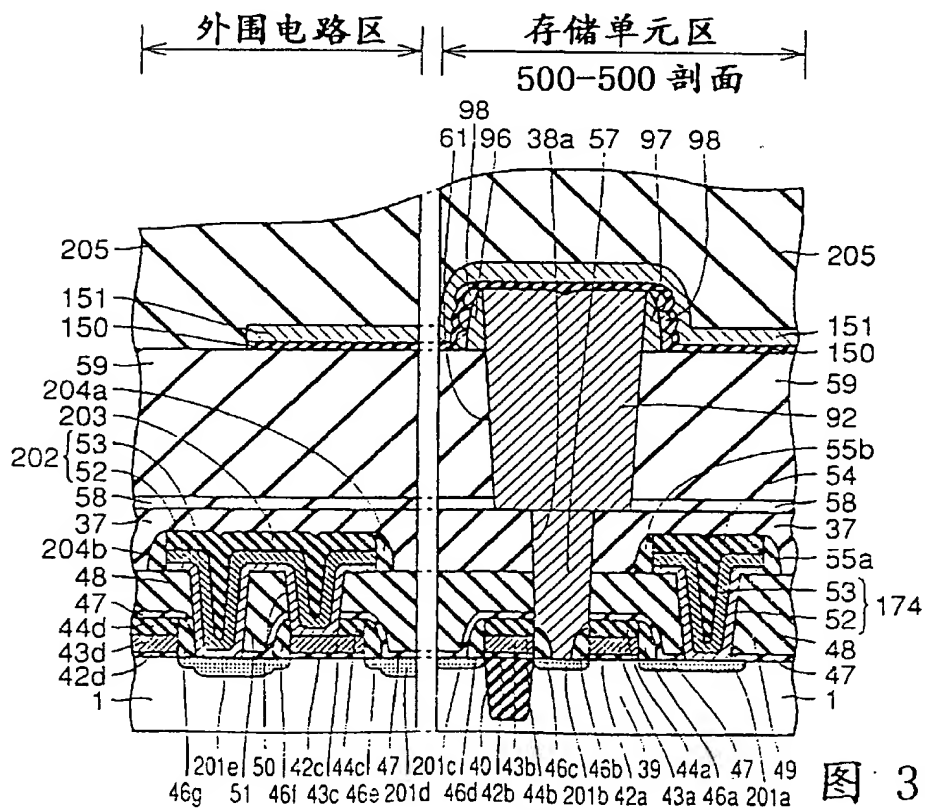


图 35

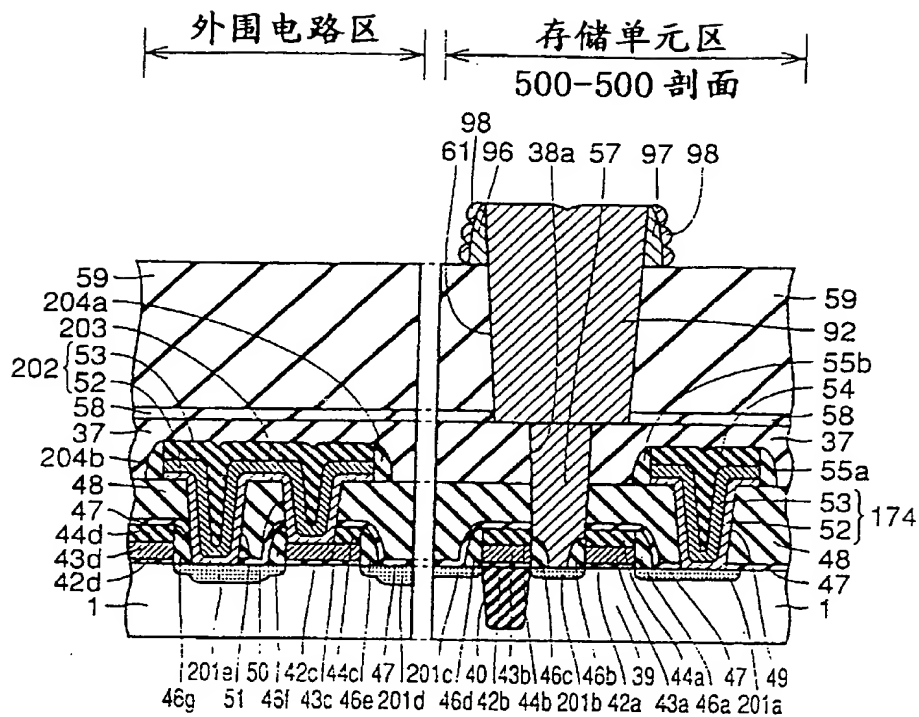


图 36

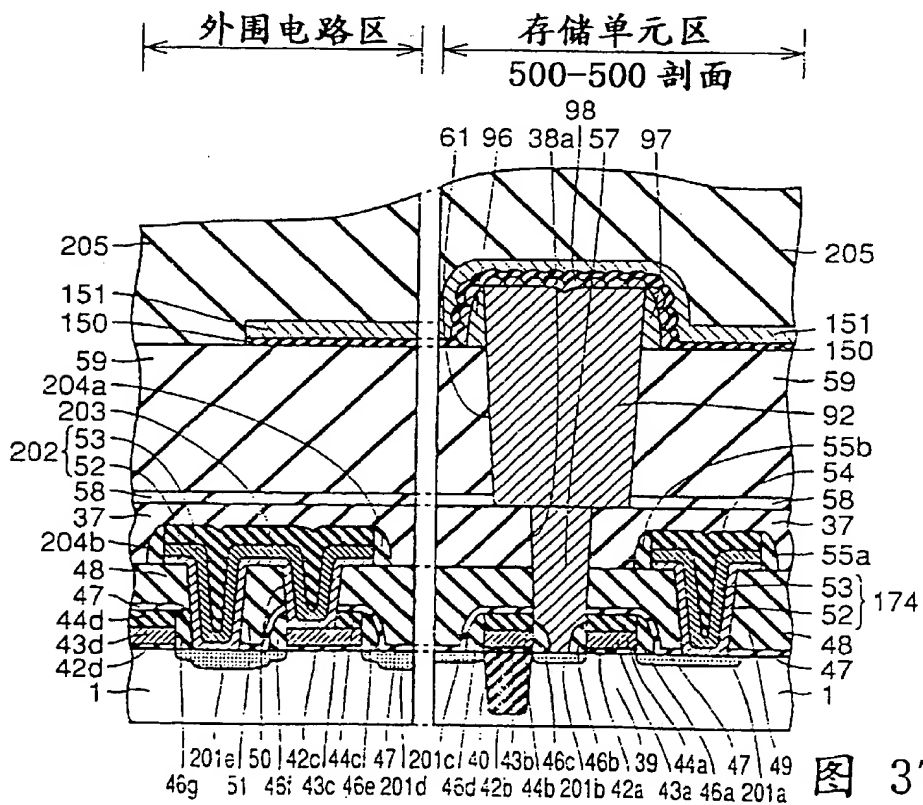


图 37



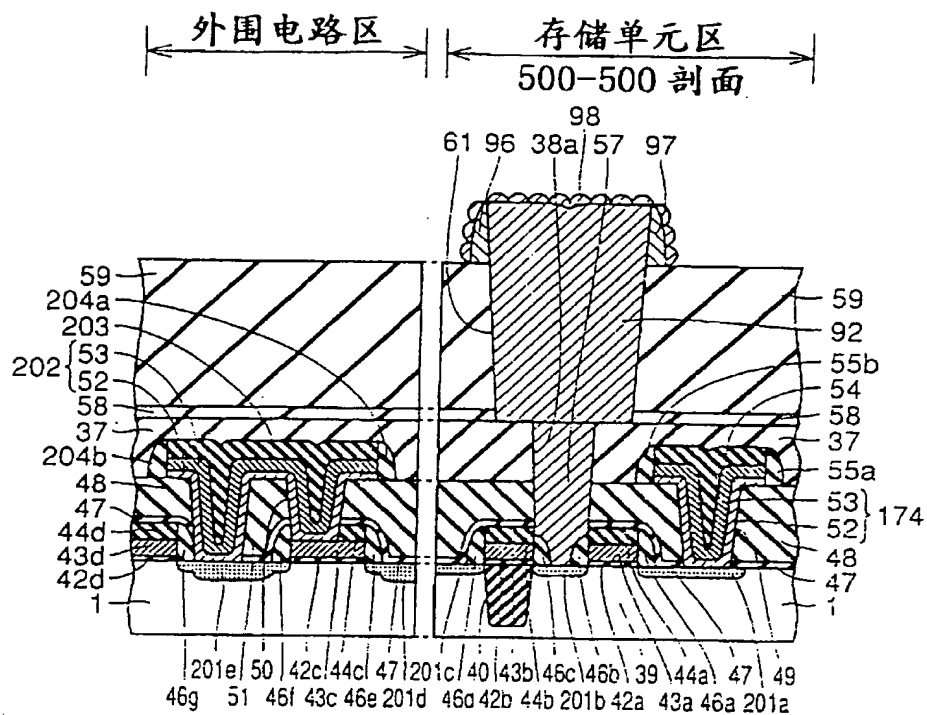


图 38

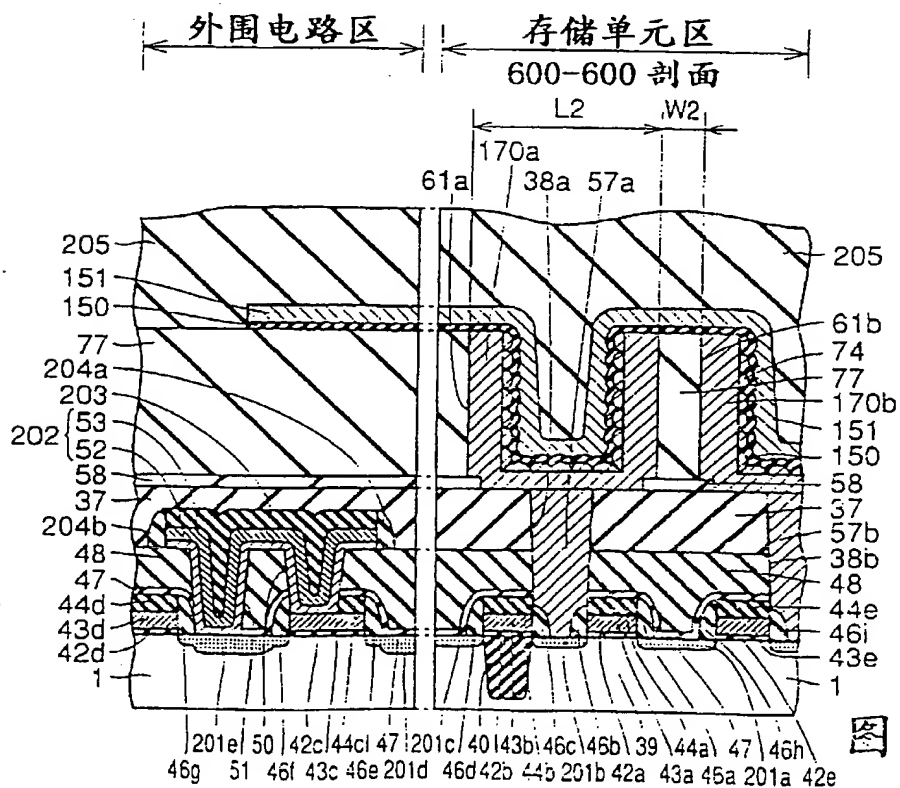


图 39

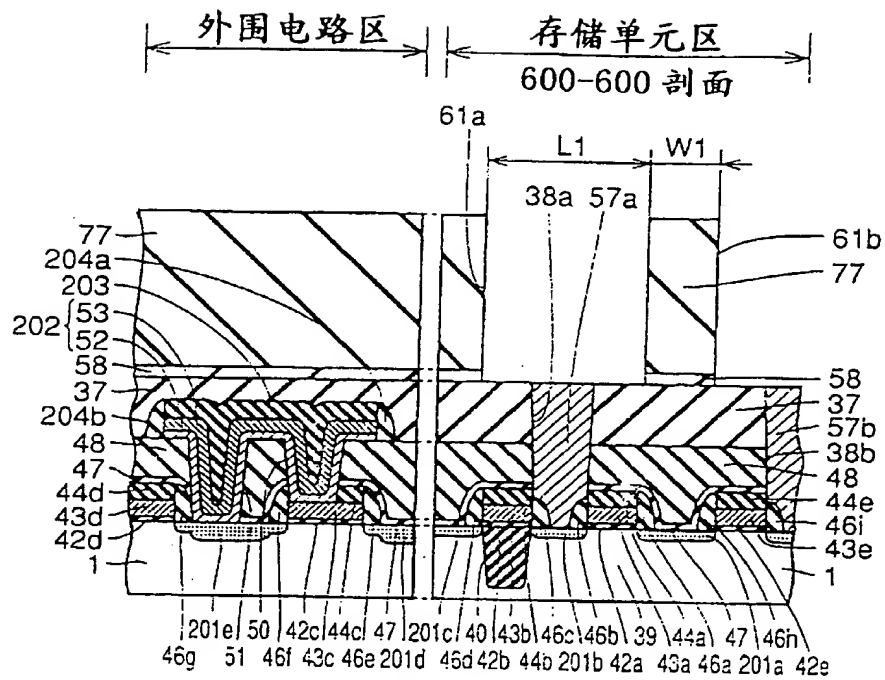


图 40

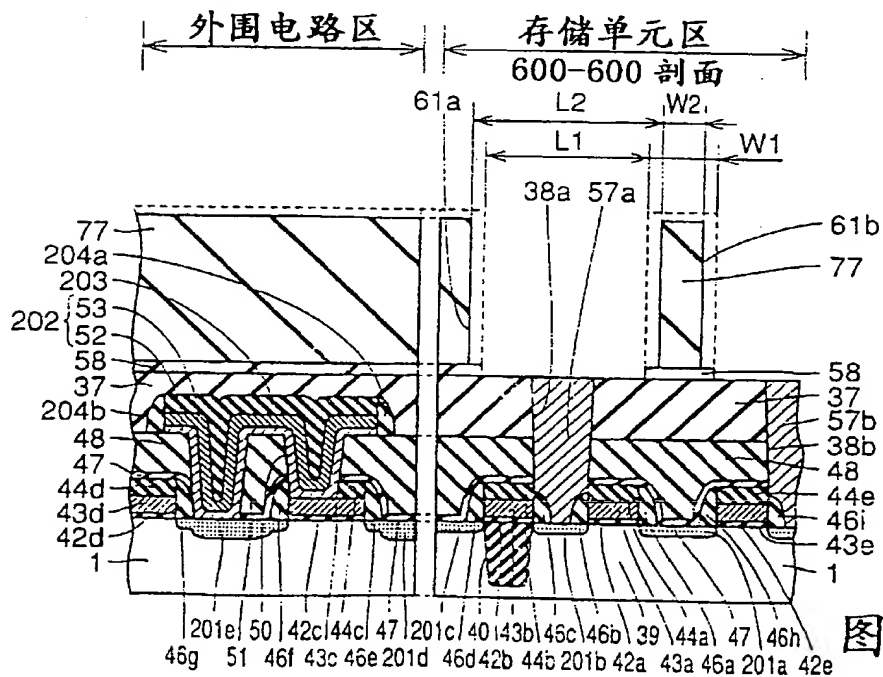


图 41

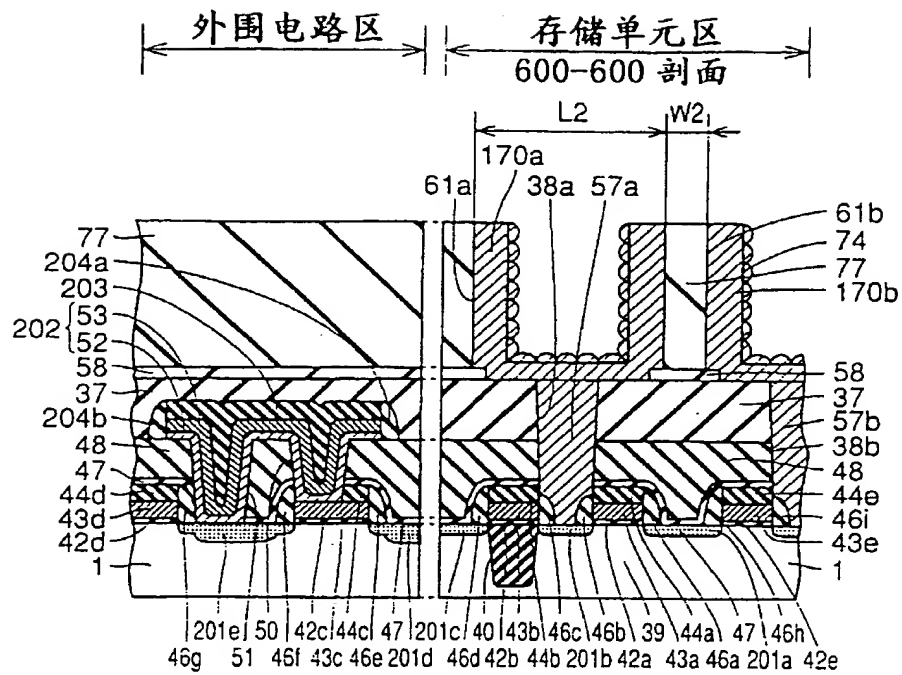


图 42

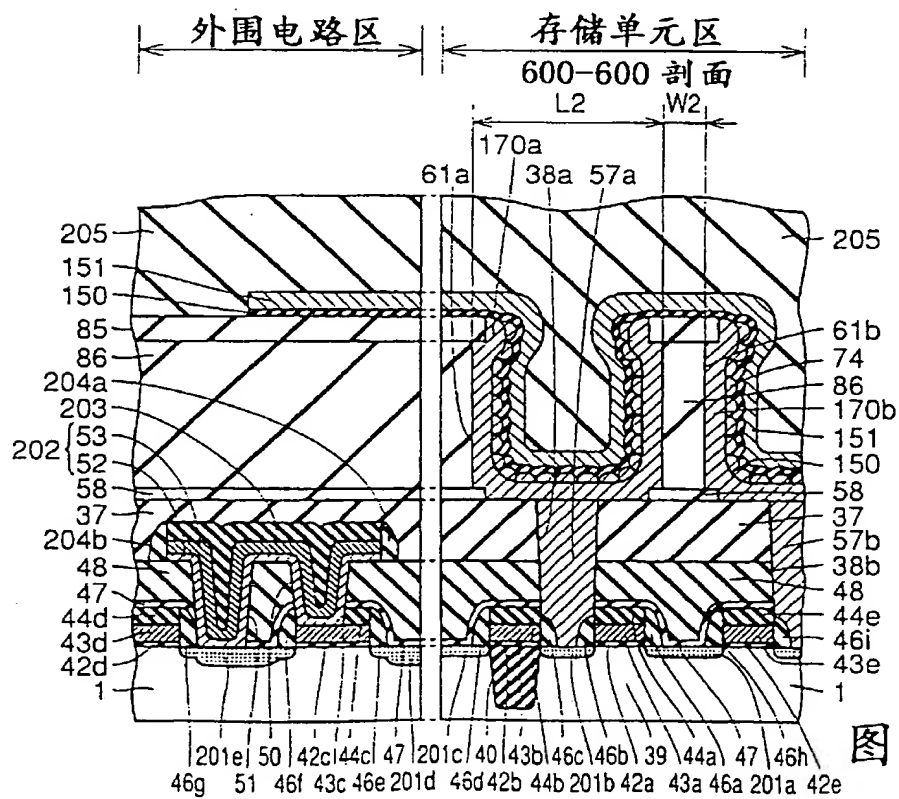


图 43

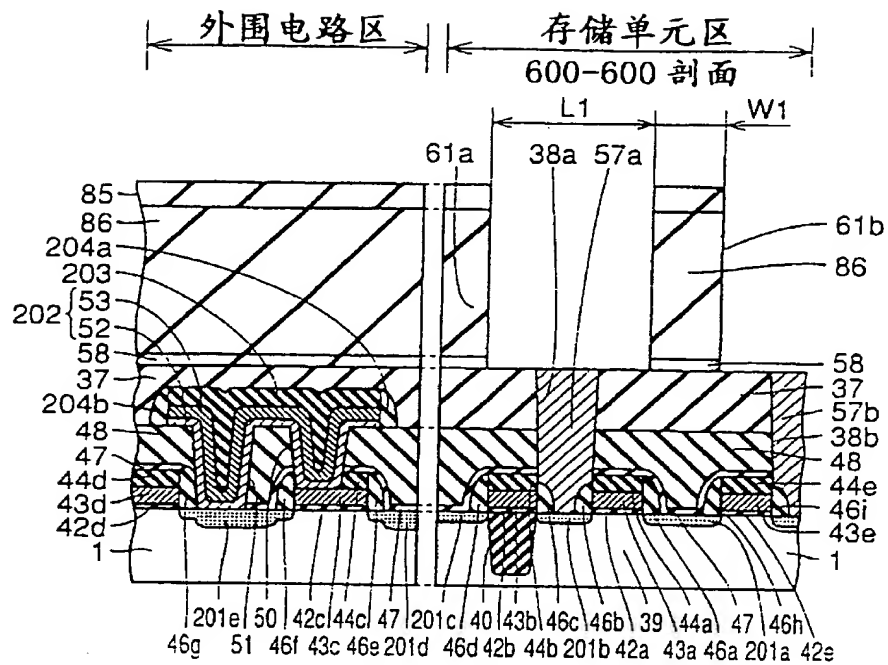


图 44

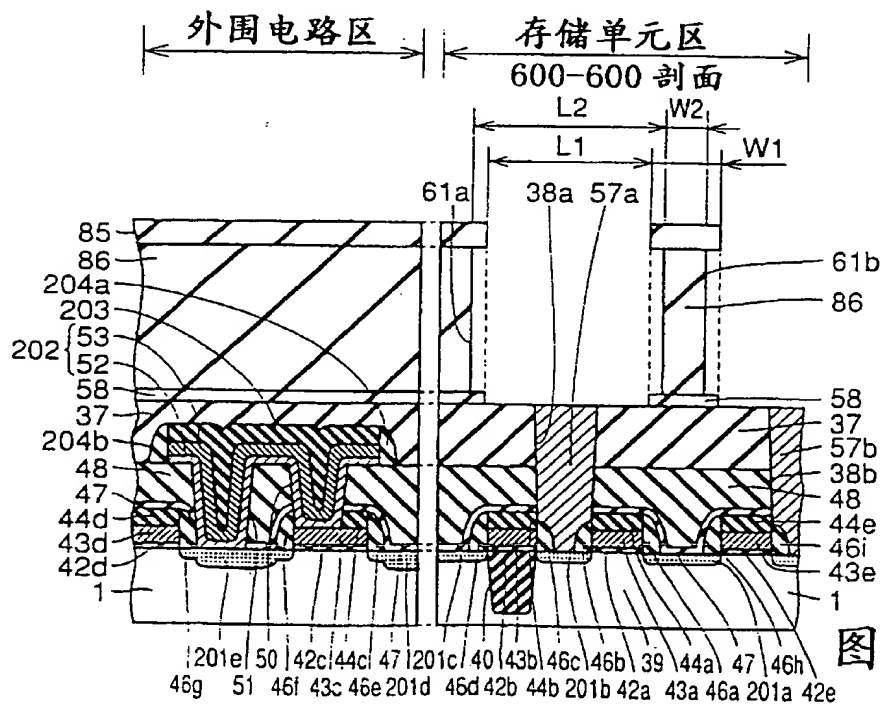


图 45

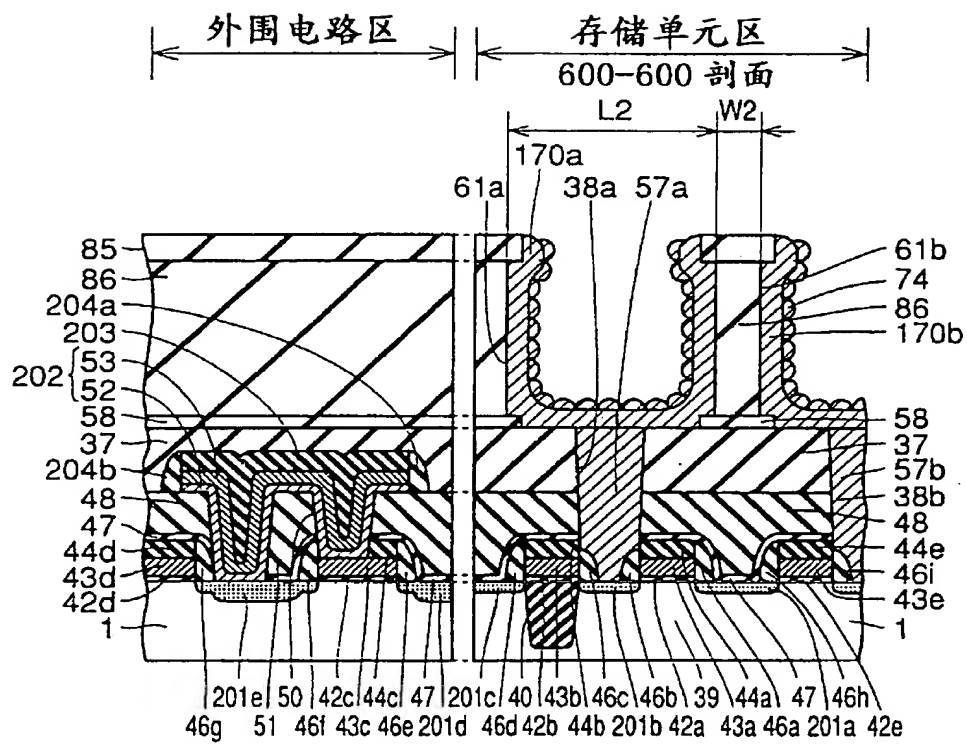


图 46

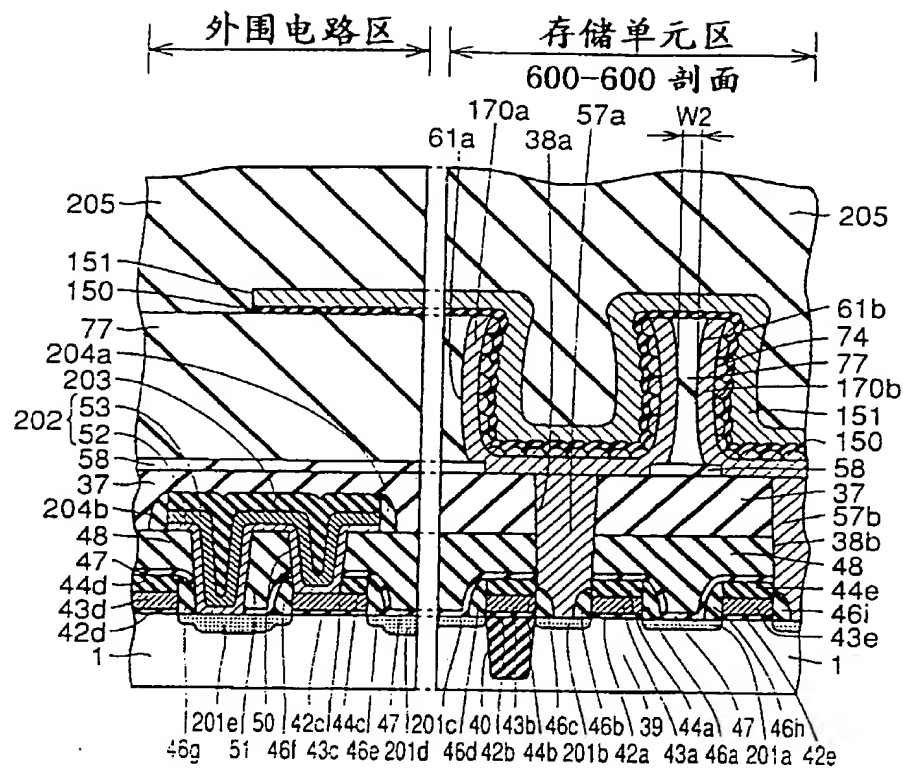


图 47

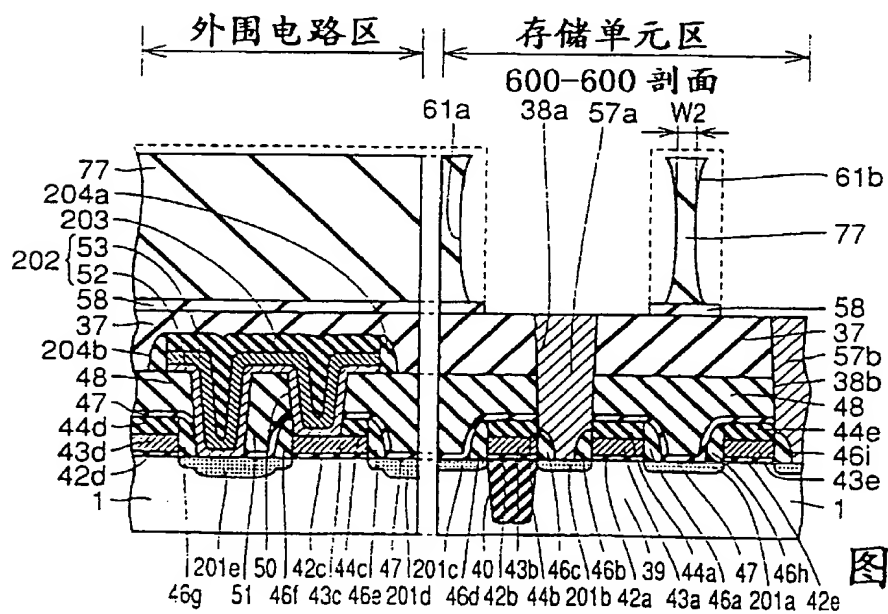


图 48

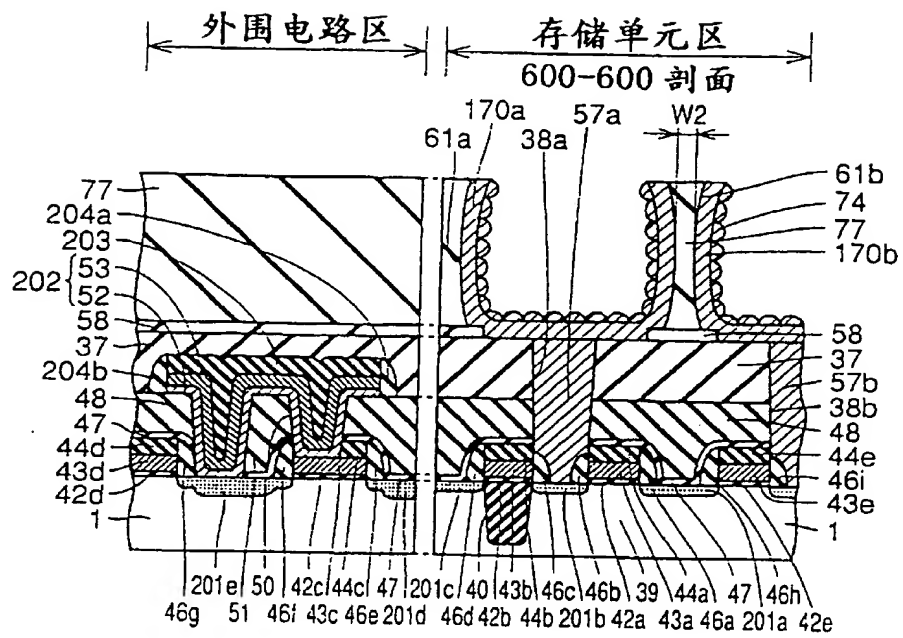


图 49

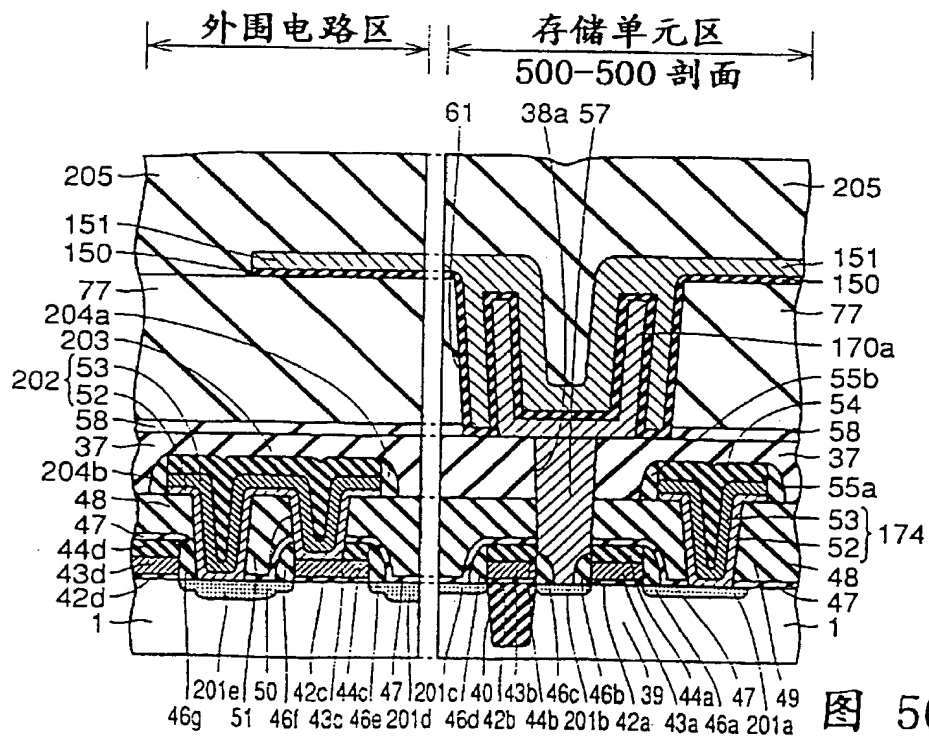


图 50

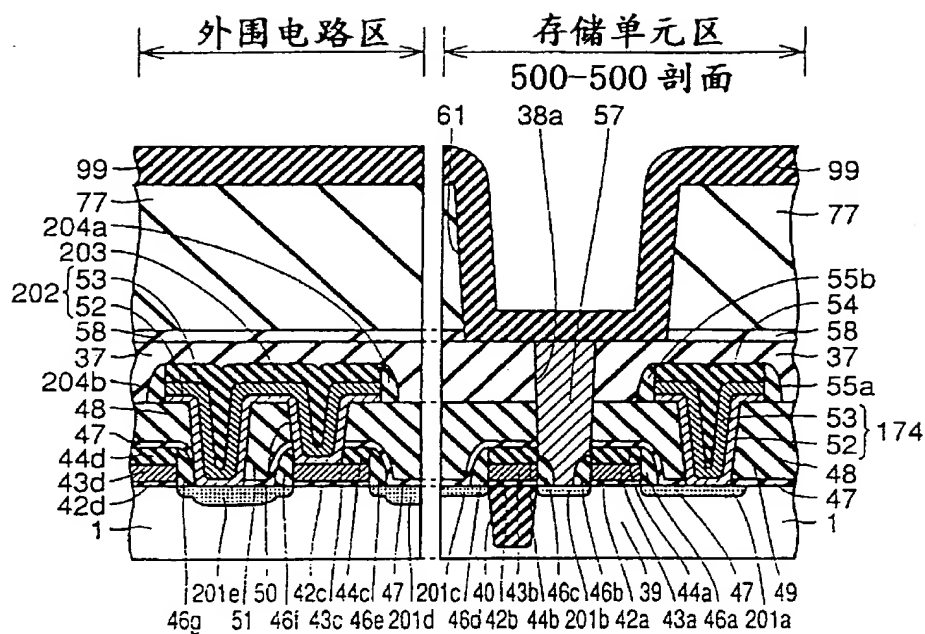


图 51

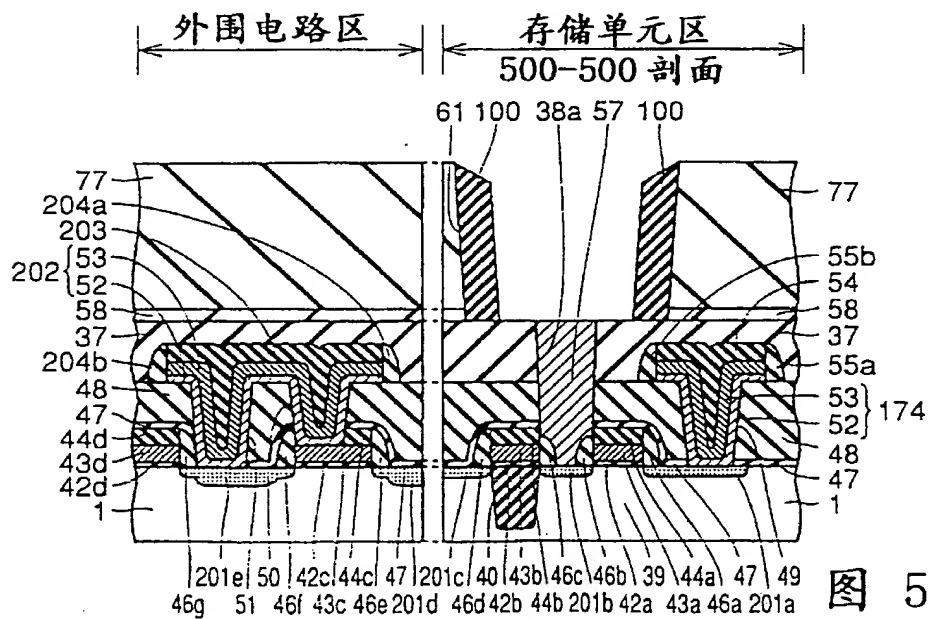


图 52



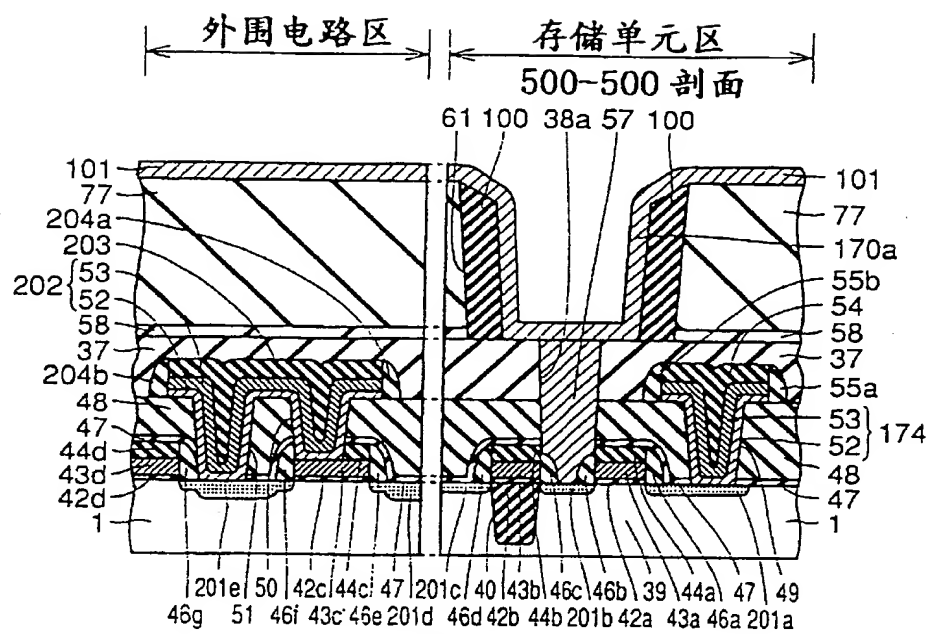


图 53

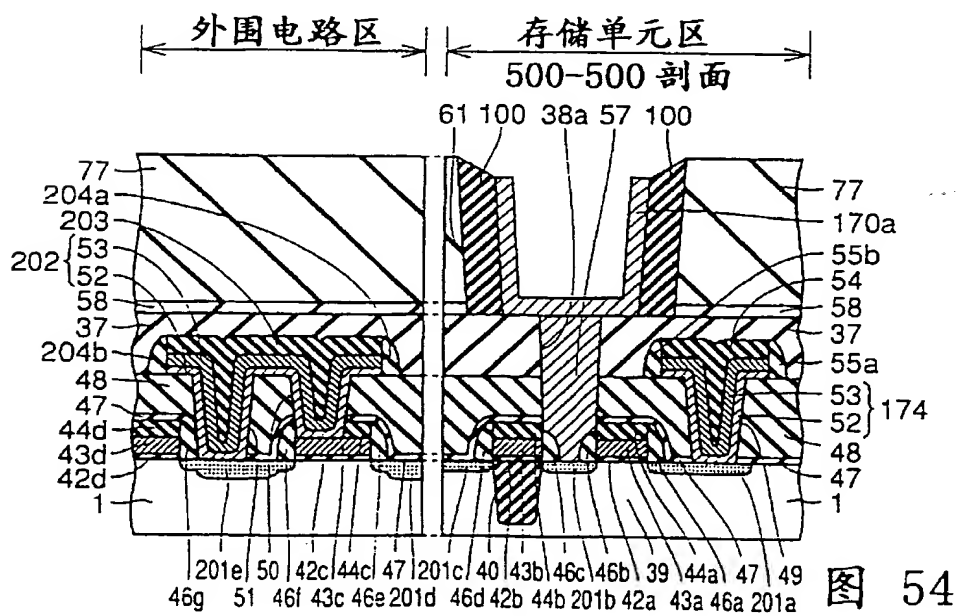


图 54

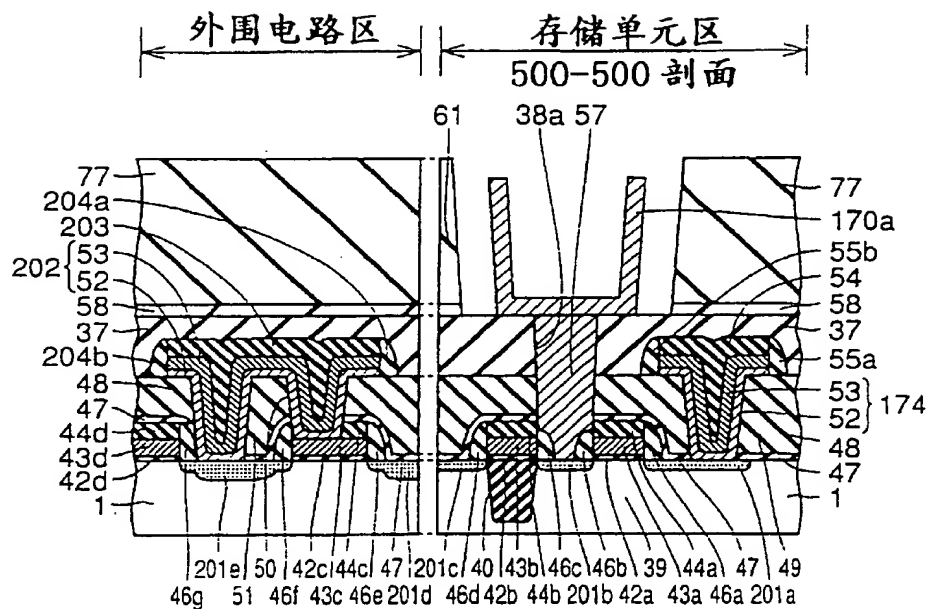


图 55

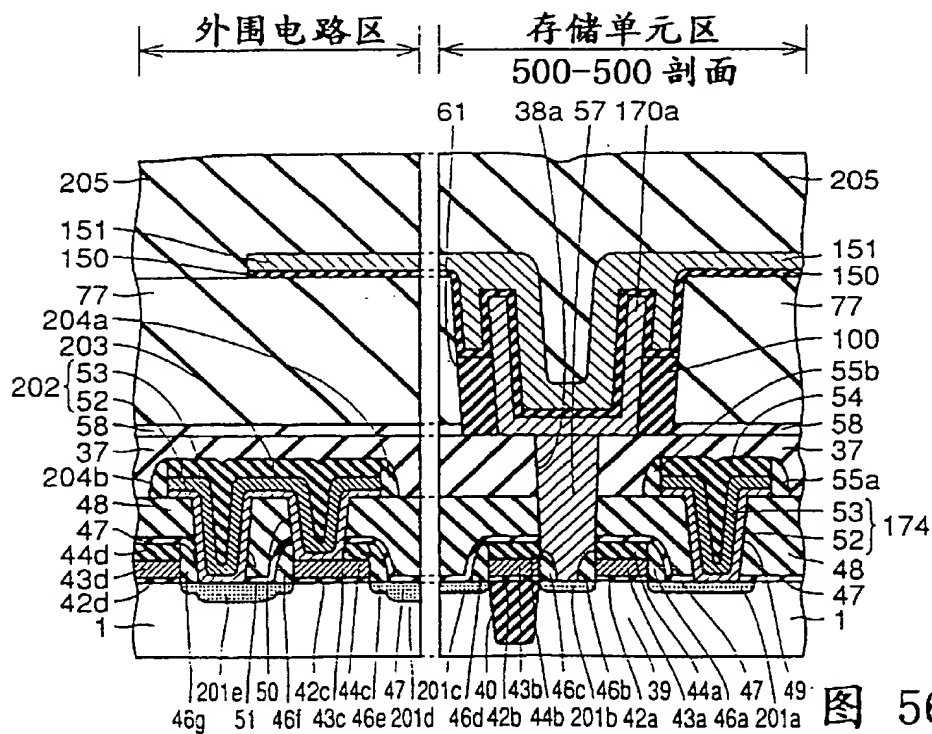


图 56

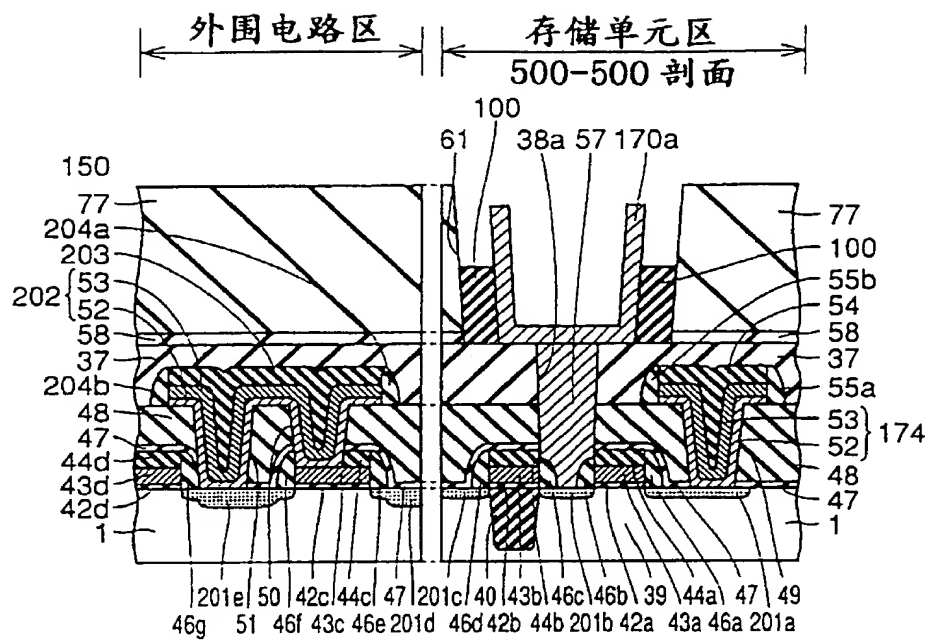


图 57

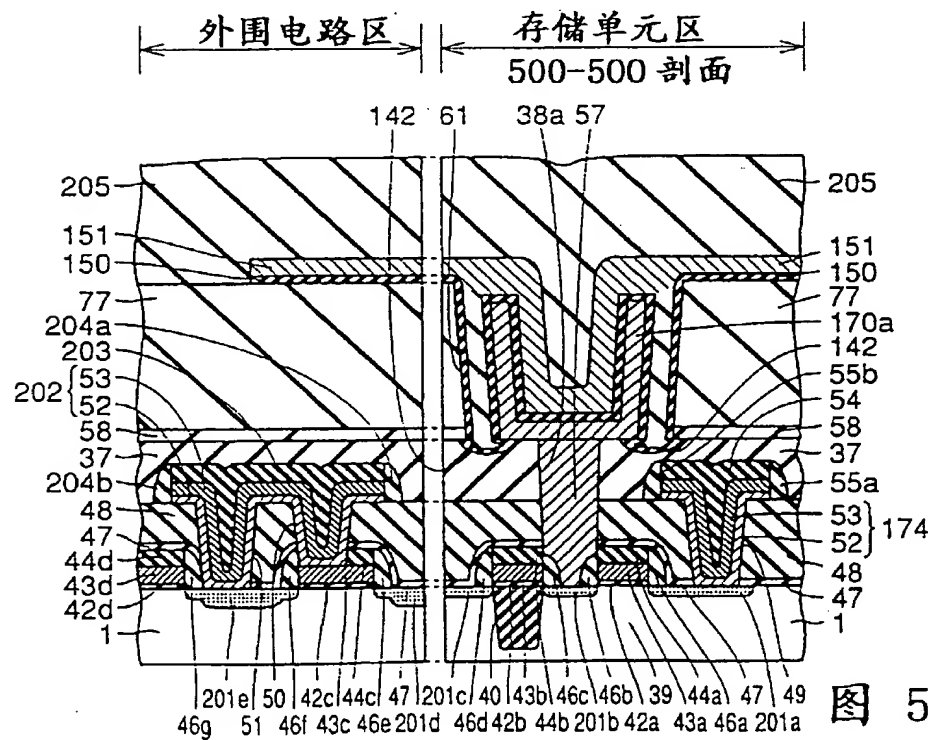


图 58

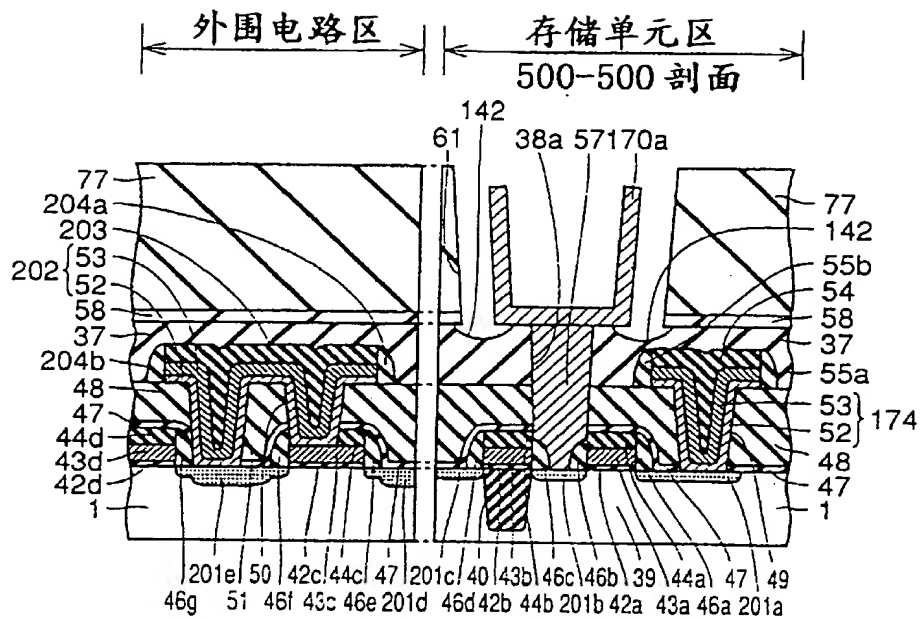


图 59

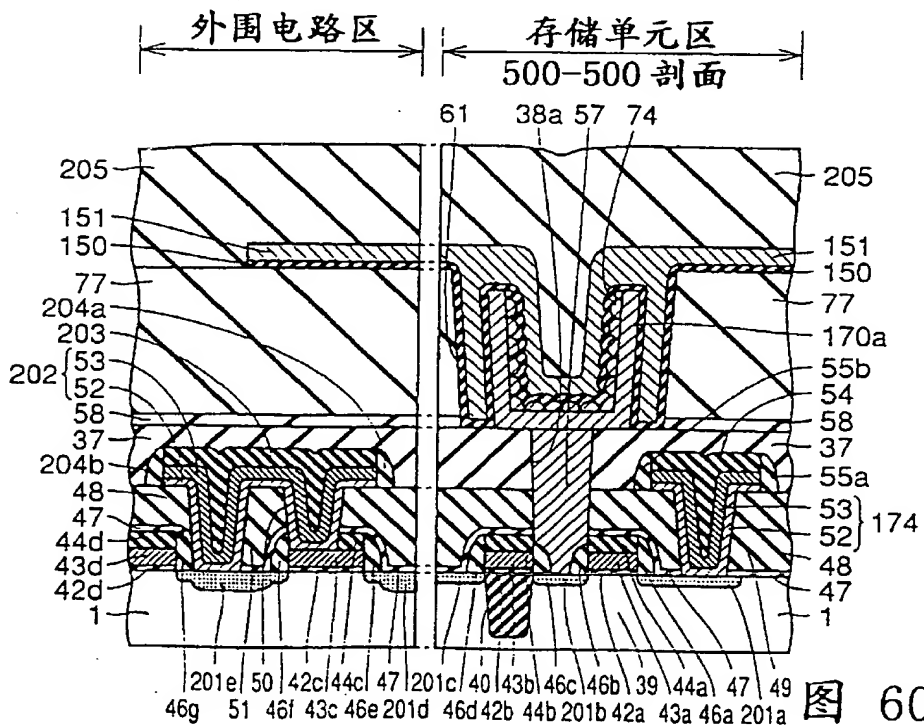


图 60

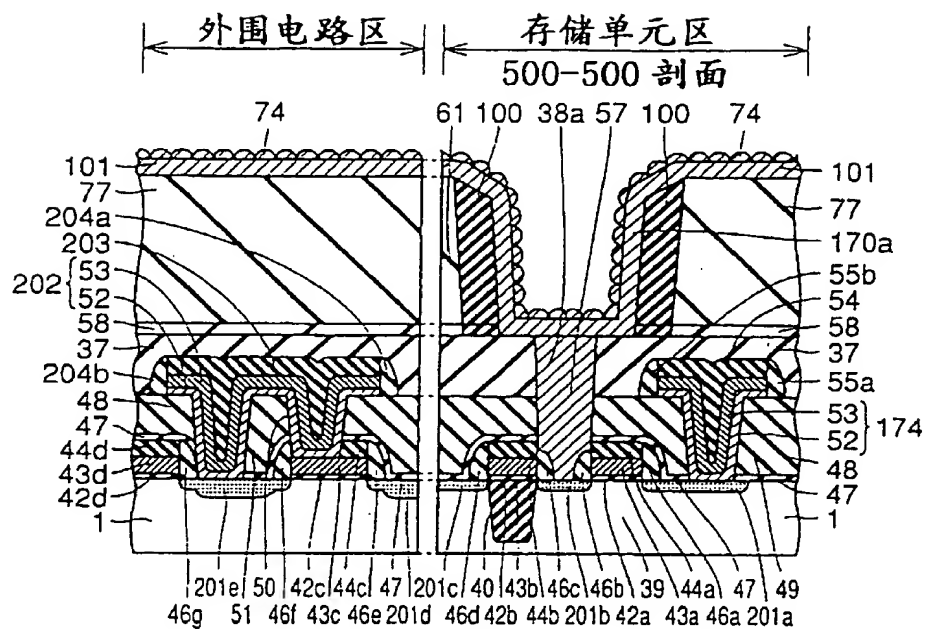


图 61

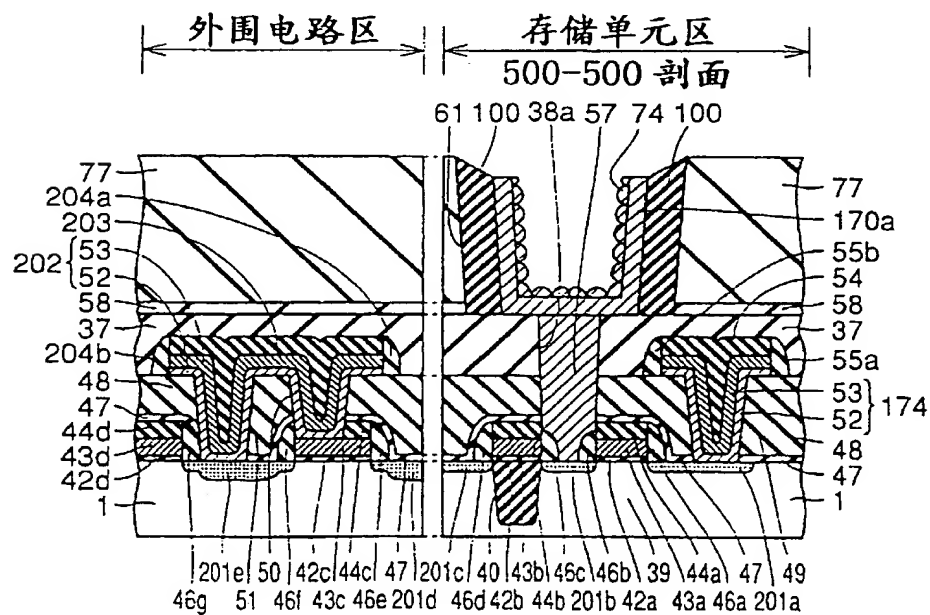


图 62

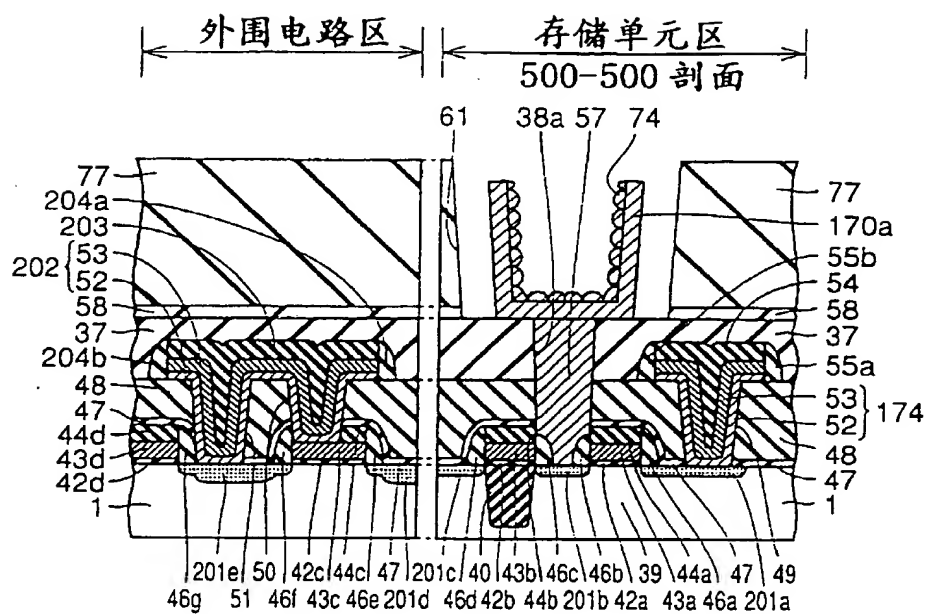


图 63

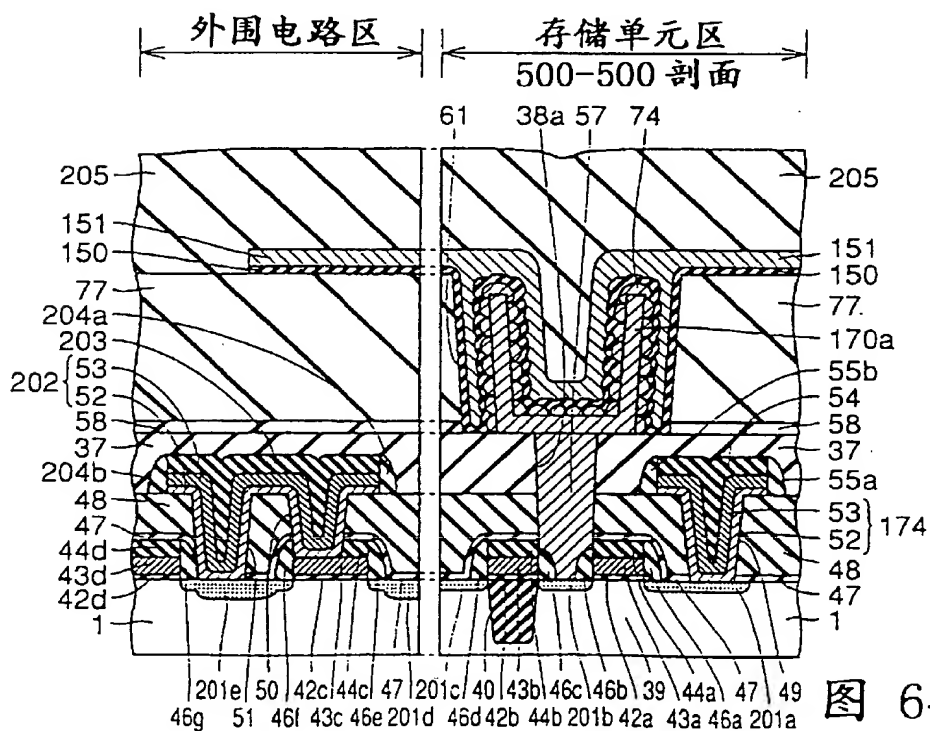


图 64

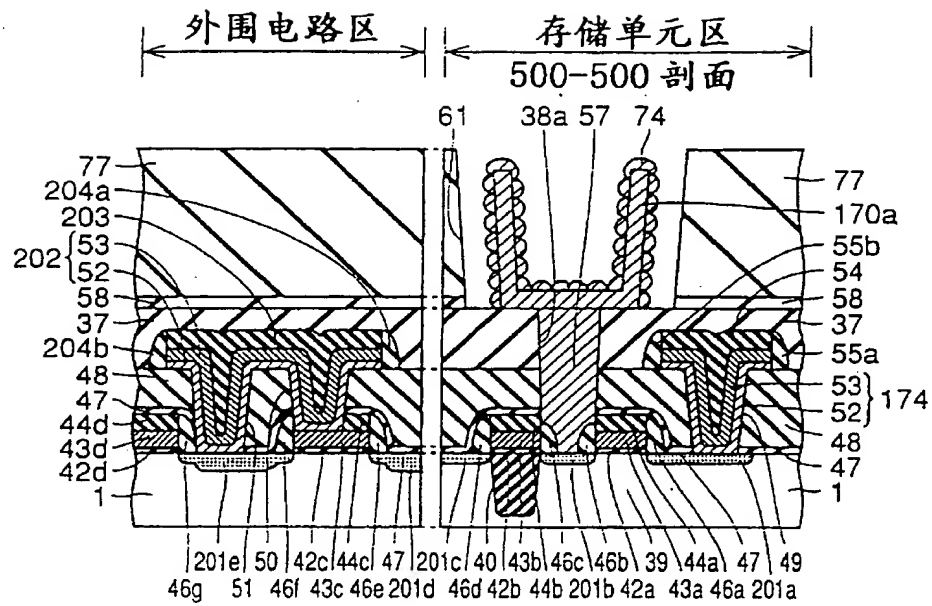


图 65

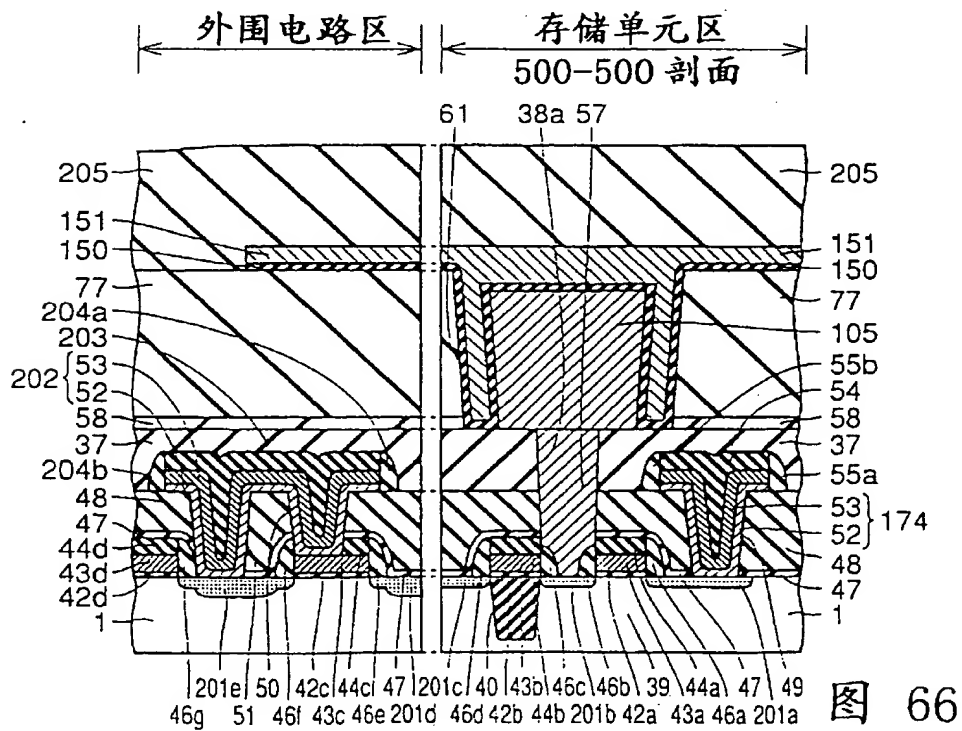


图 66

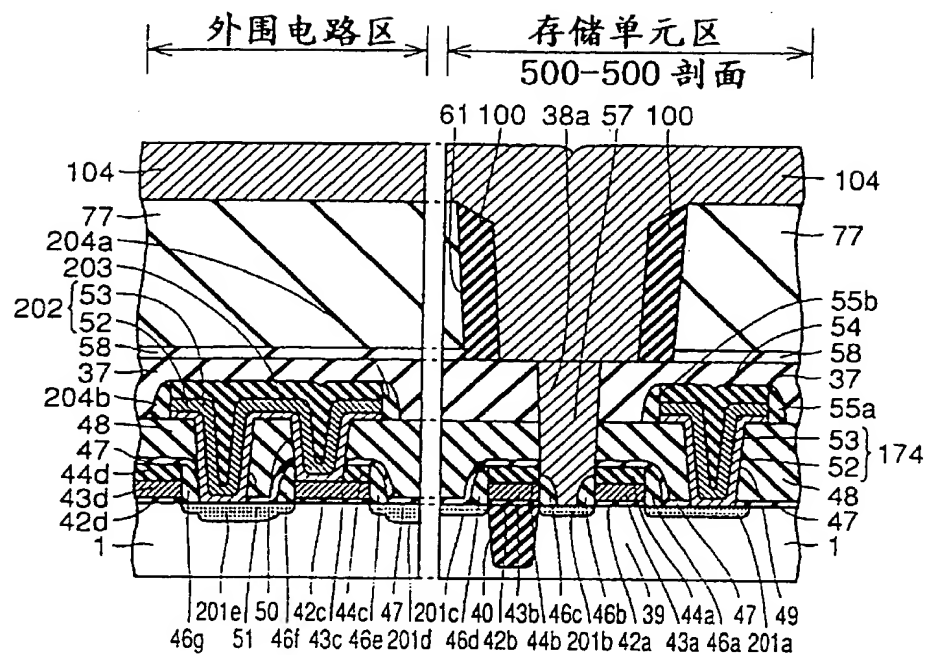


图 67

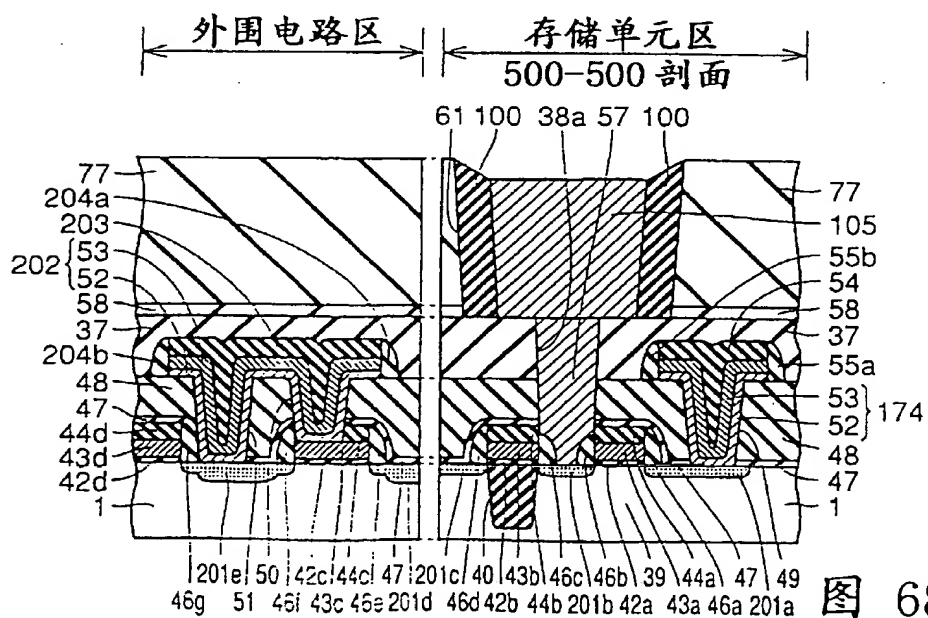


图 68



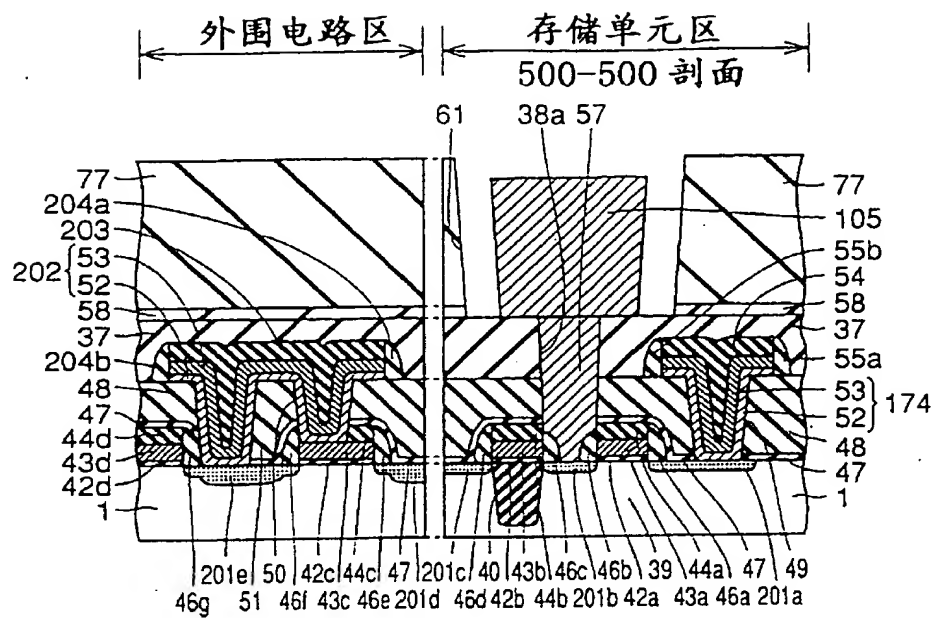


图 69

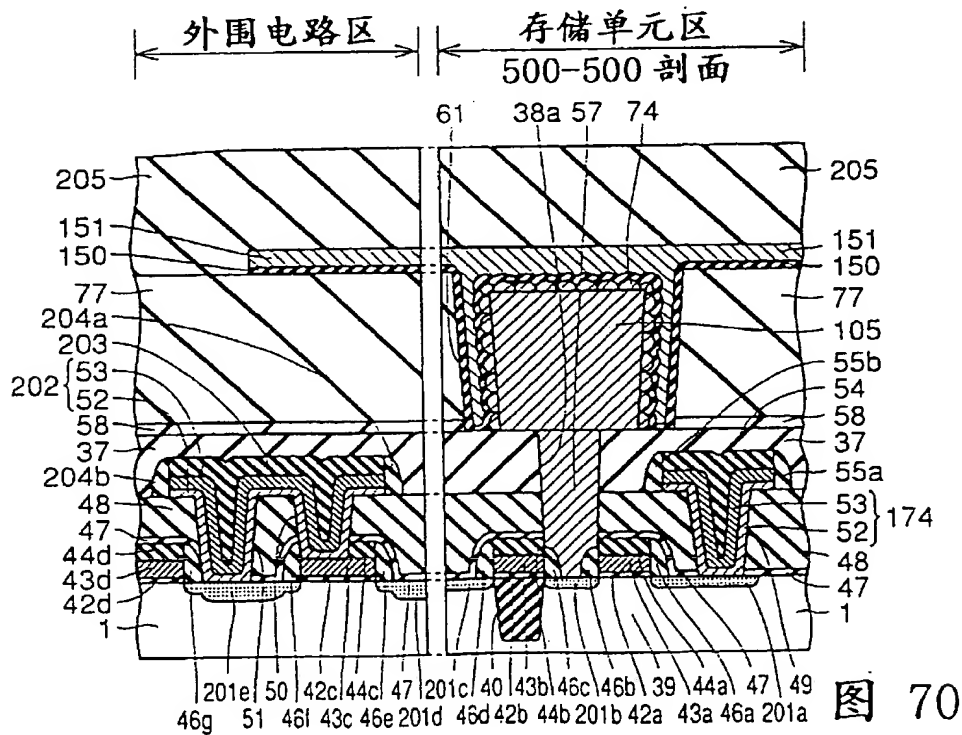


图 70

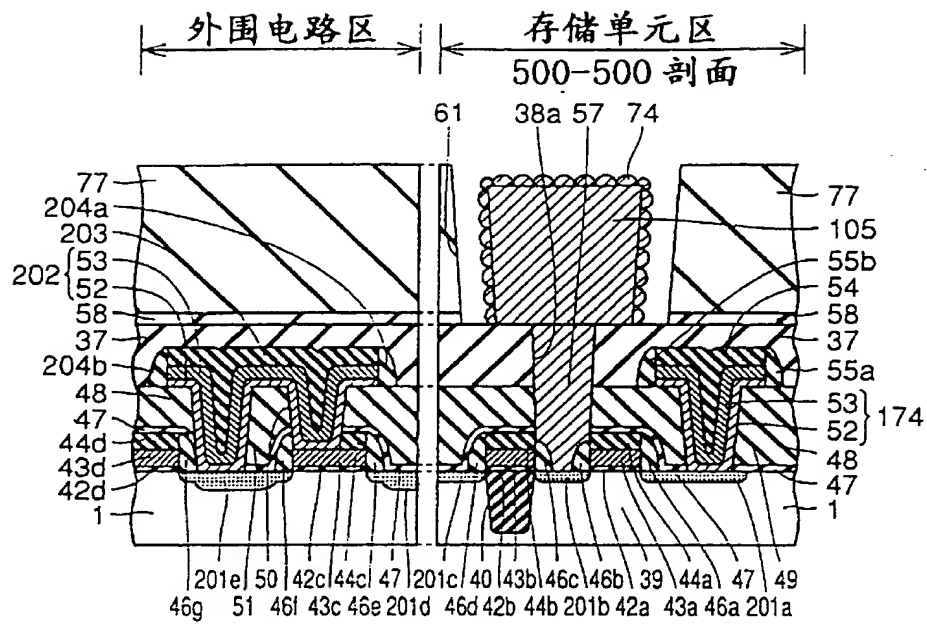


图 71

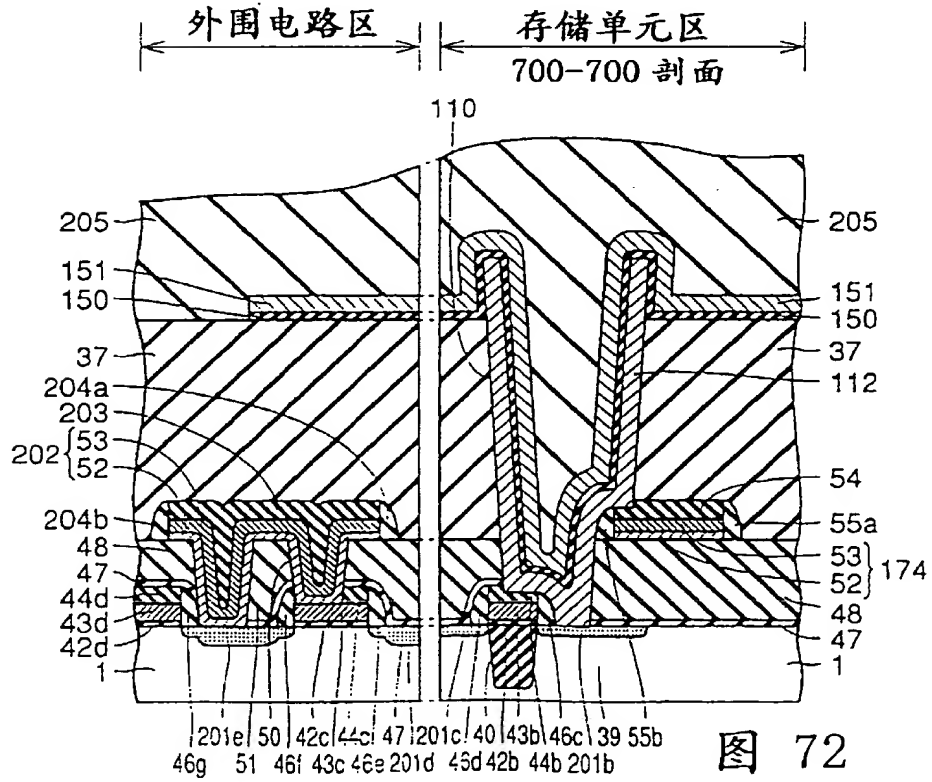


图 72

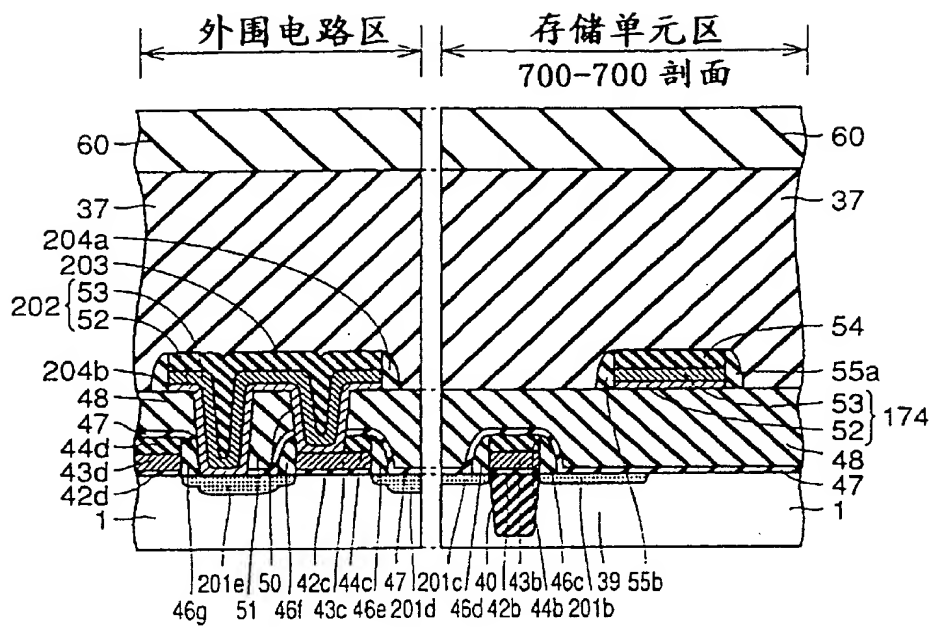


图 73

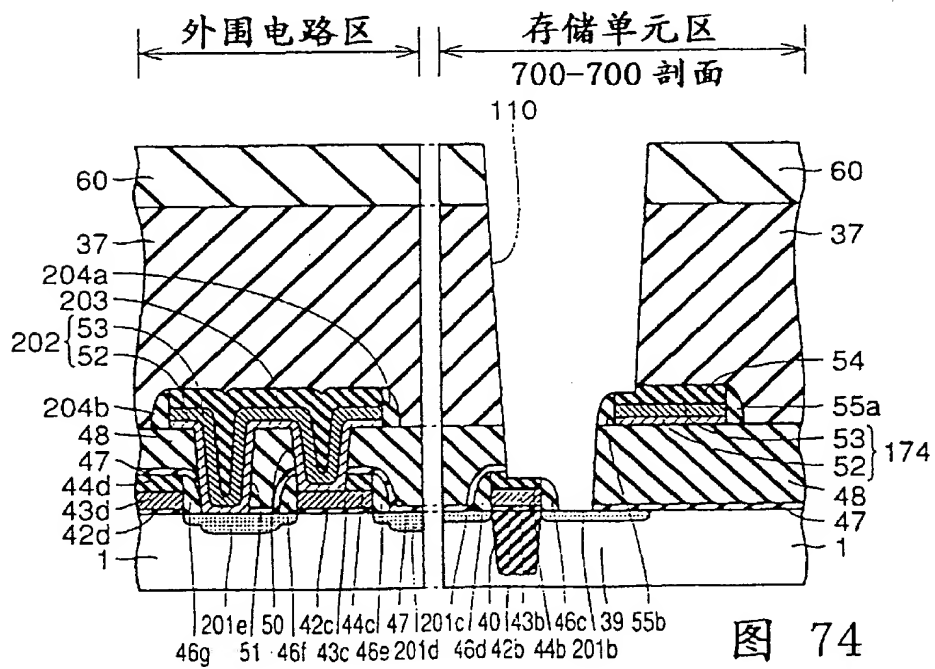


图 74

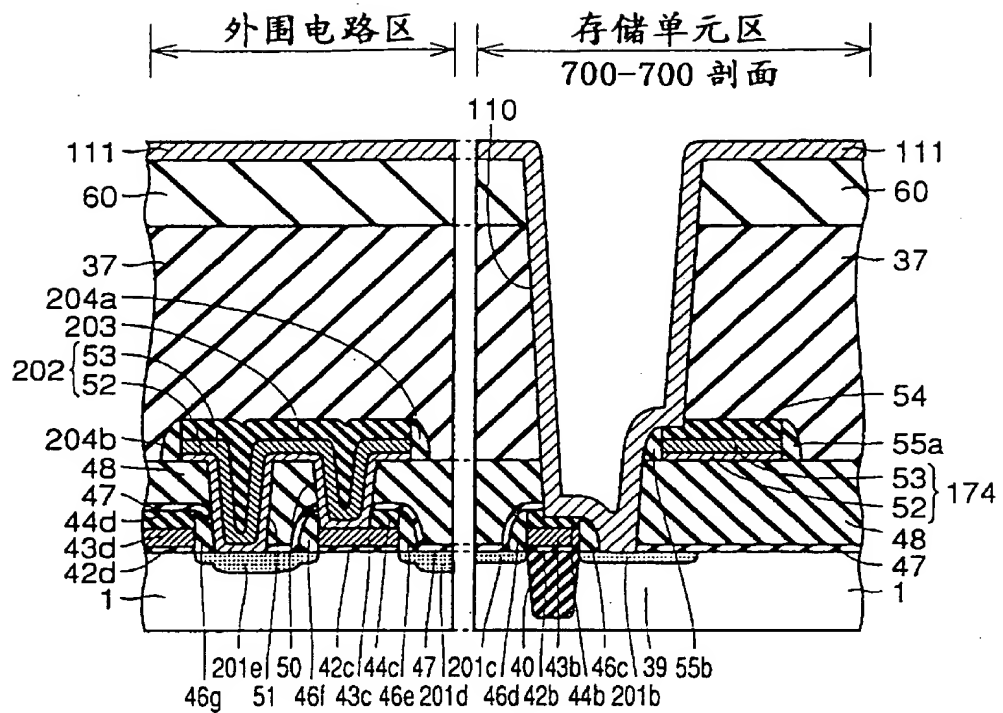


图 75

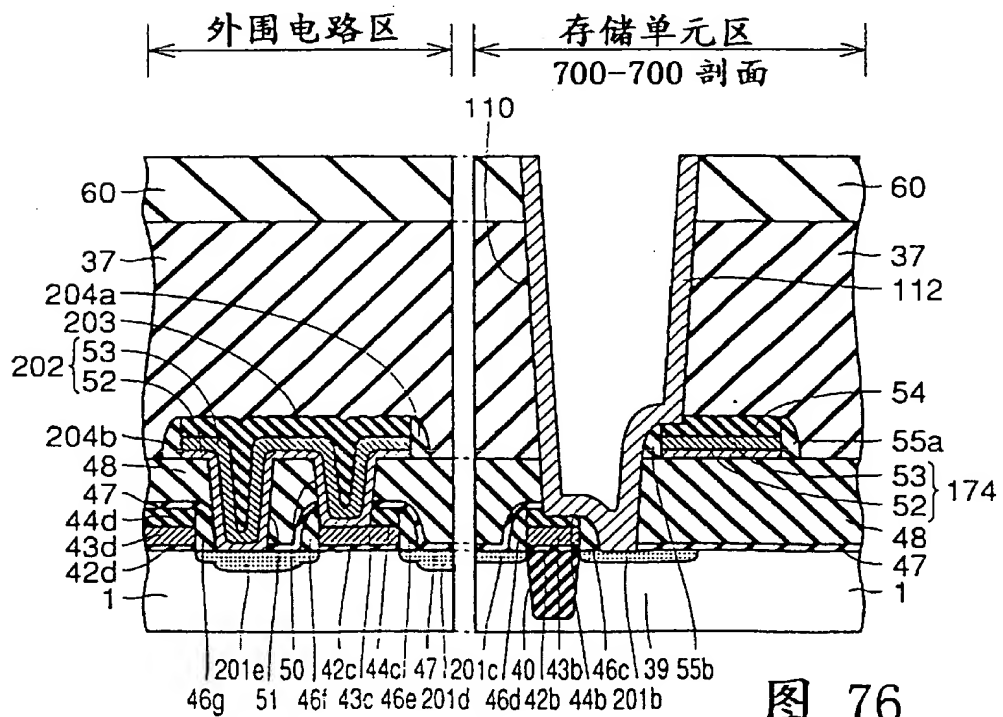


图 76

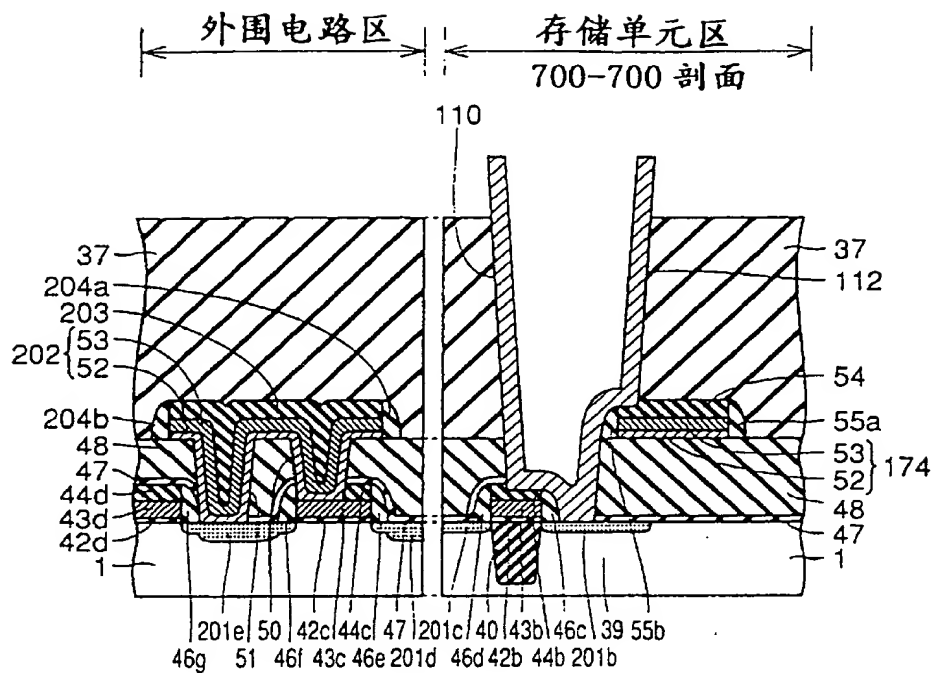


图 77

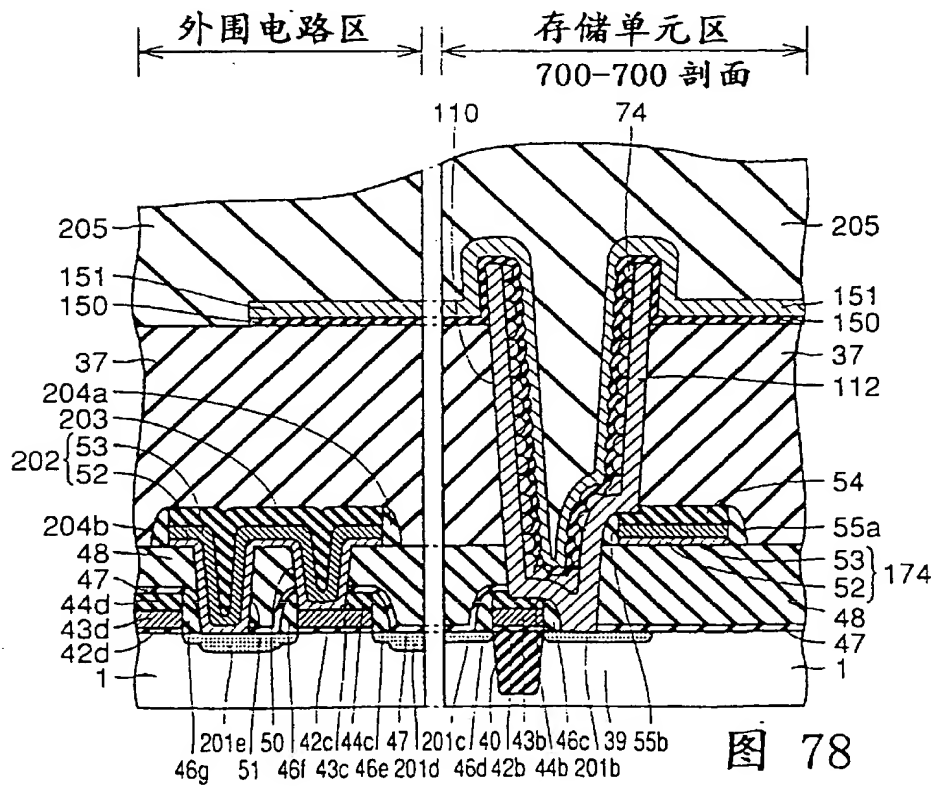


图 78

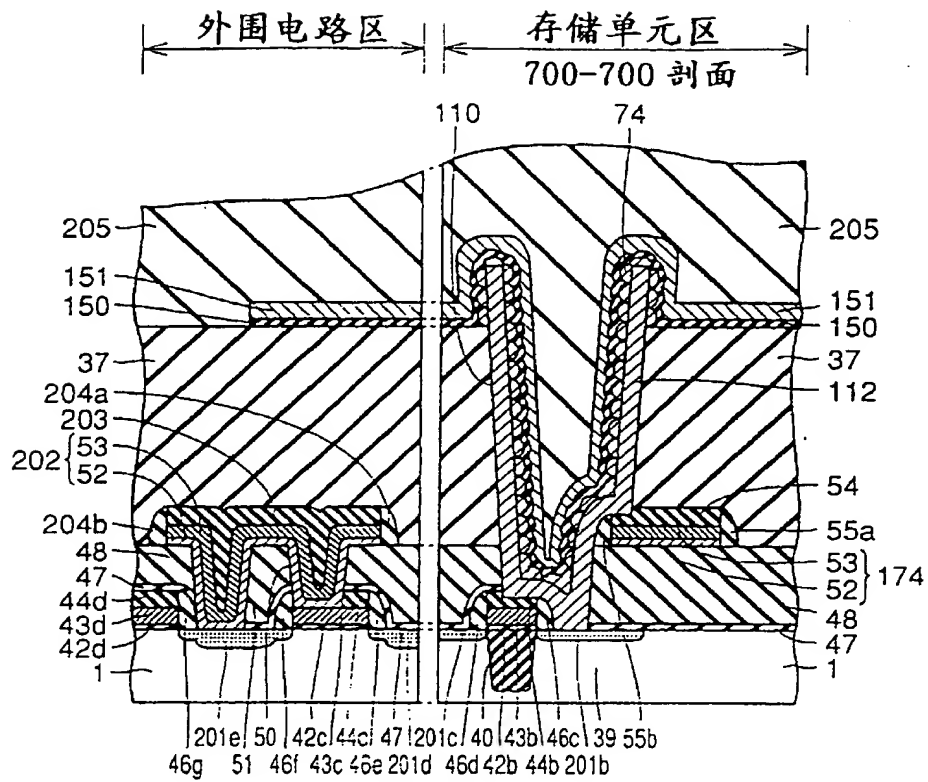


图 79

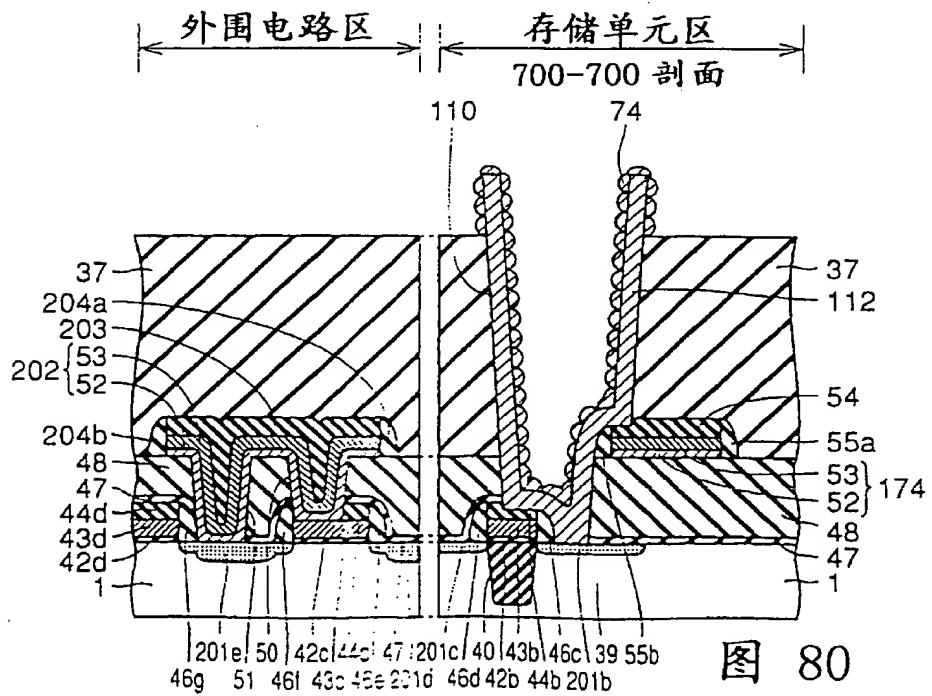


图 80

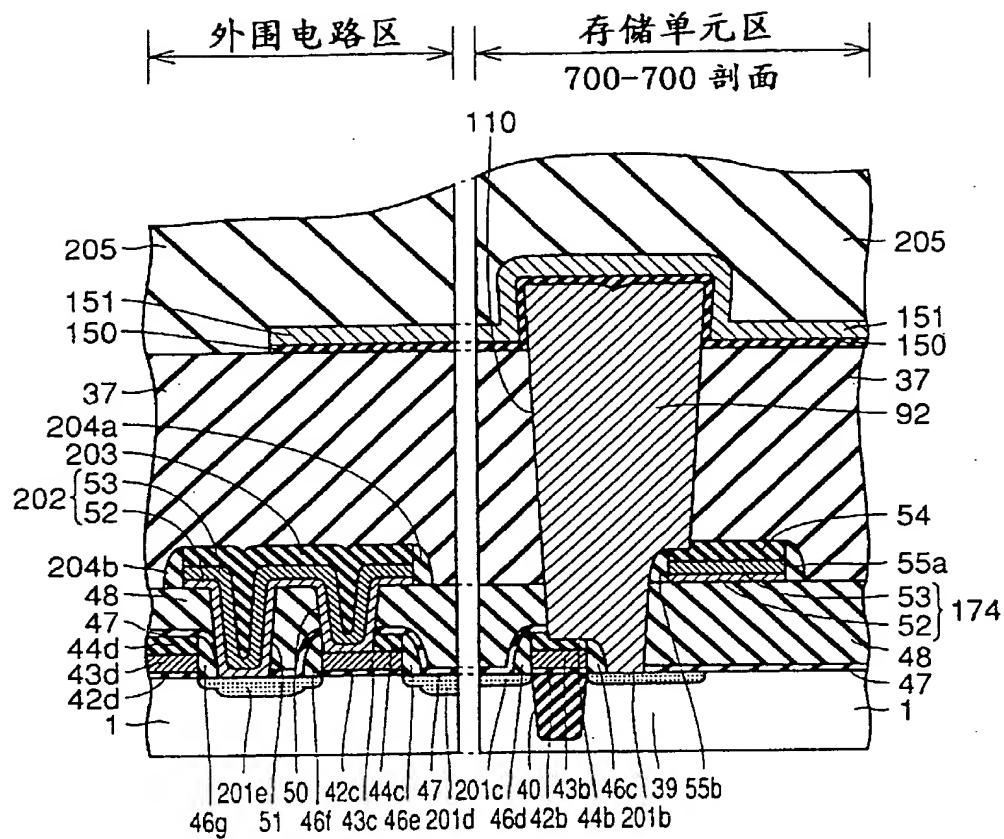


图 81

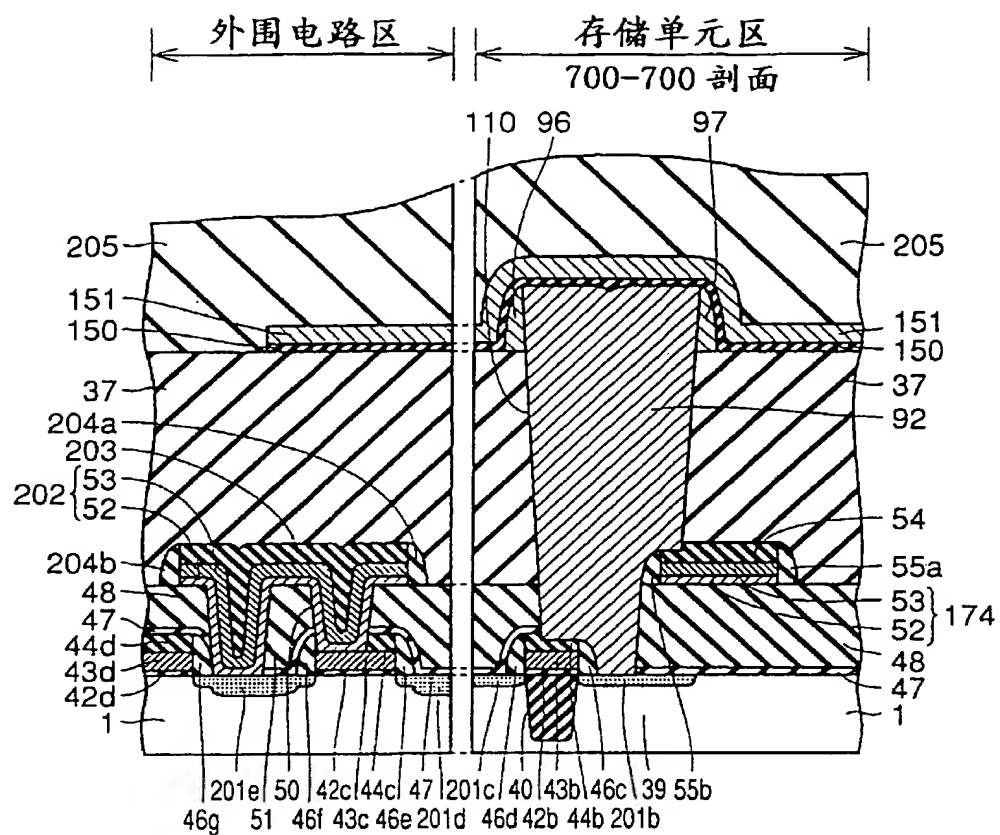


图 82



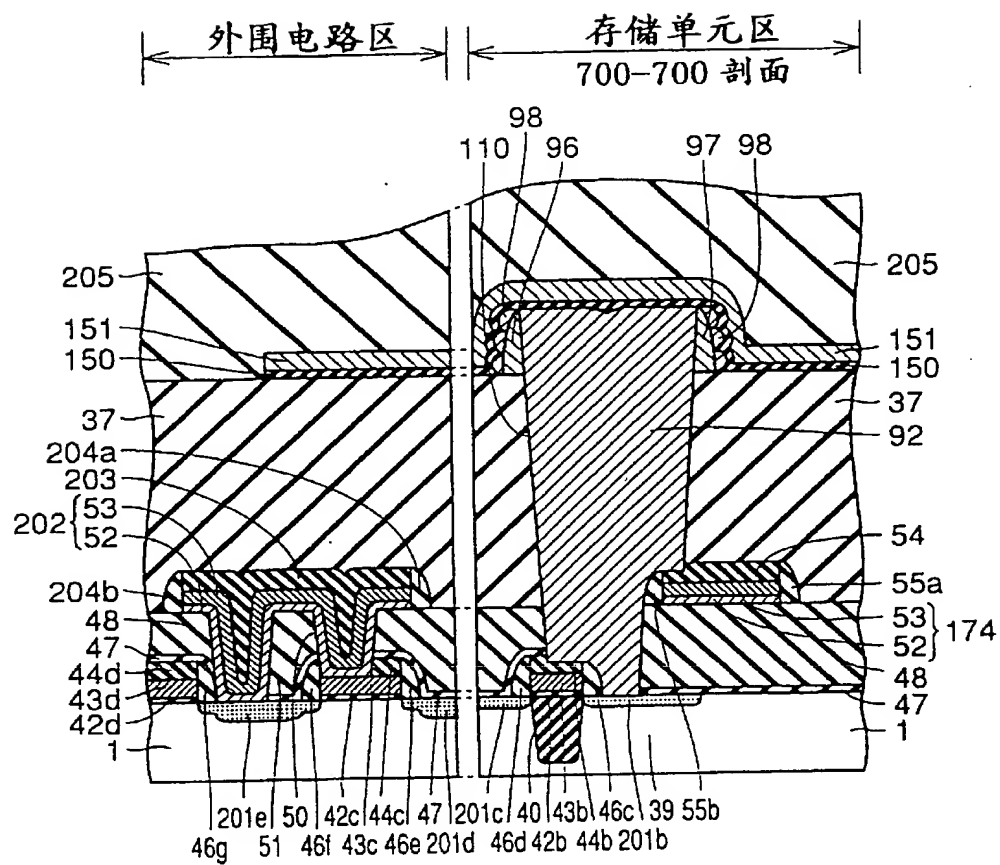


图 83

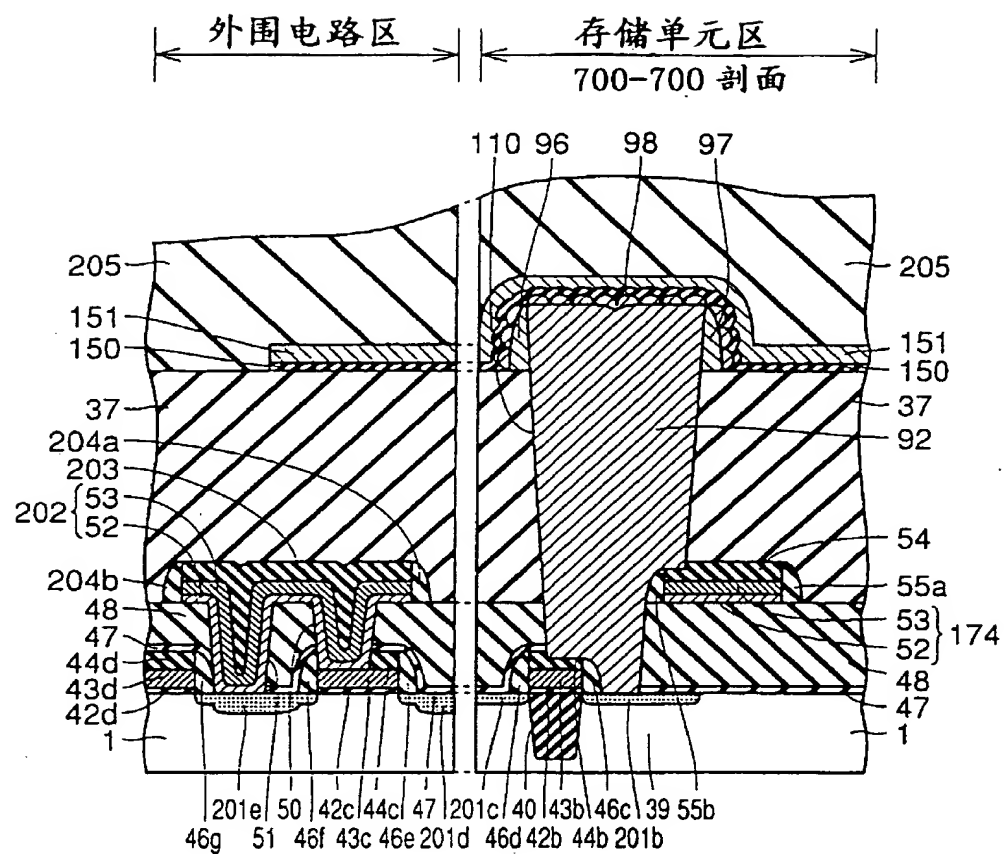


图 84

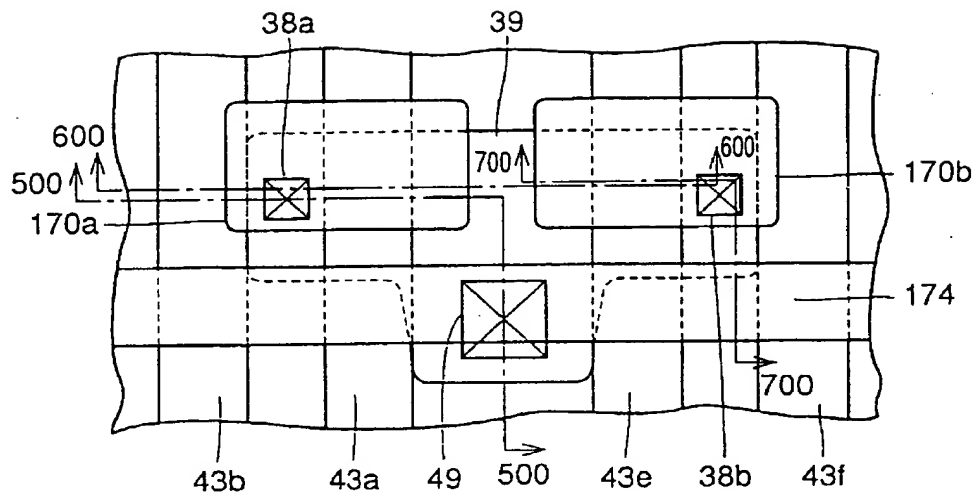


图 85

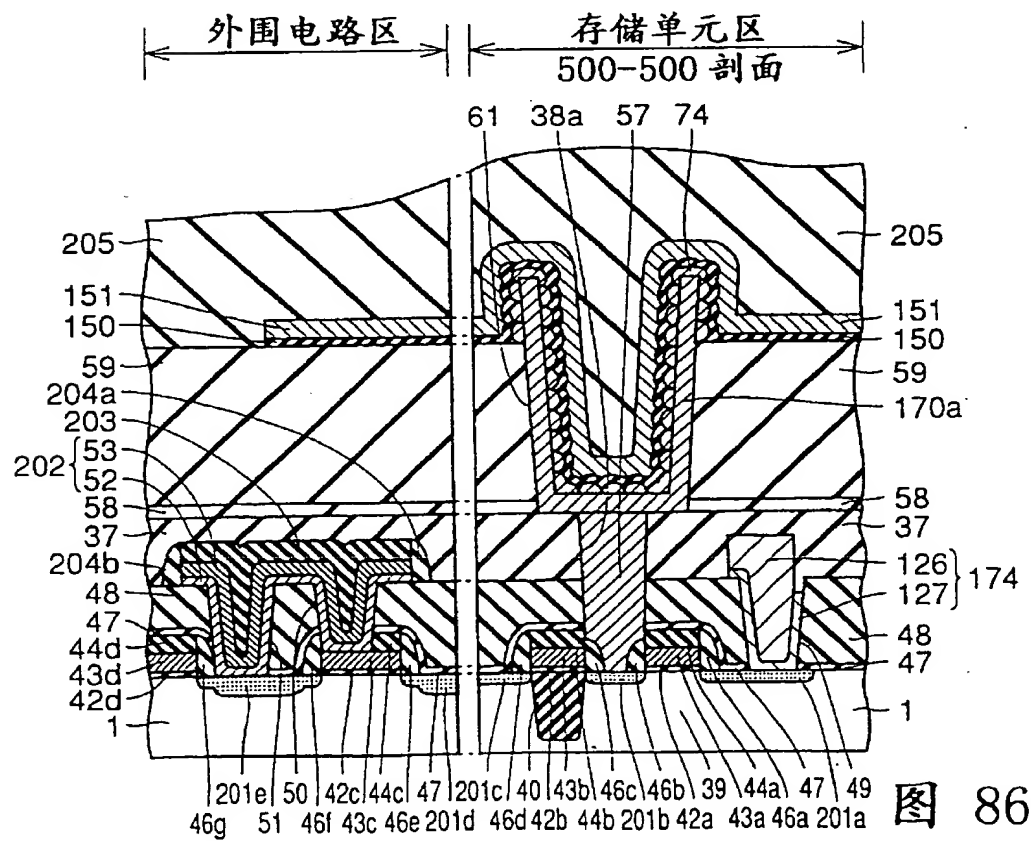


图 86

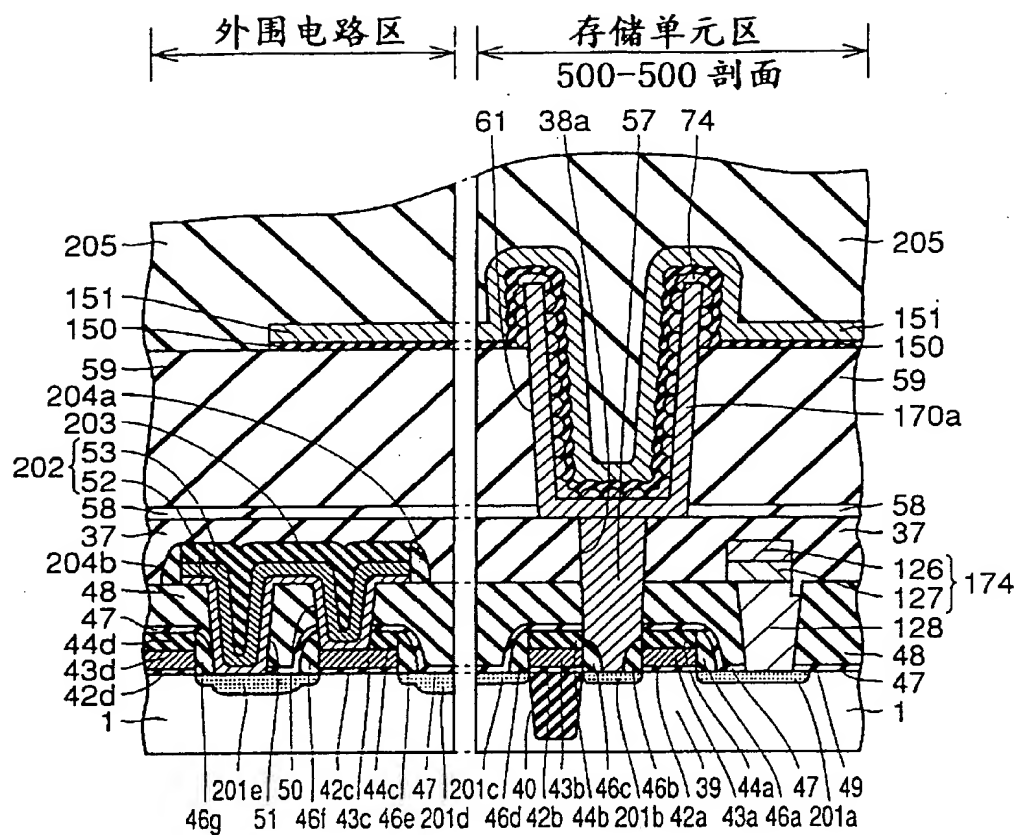


图 87

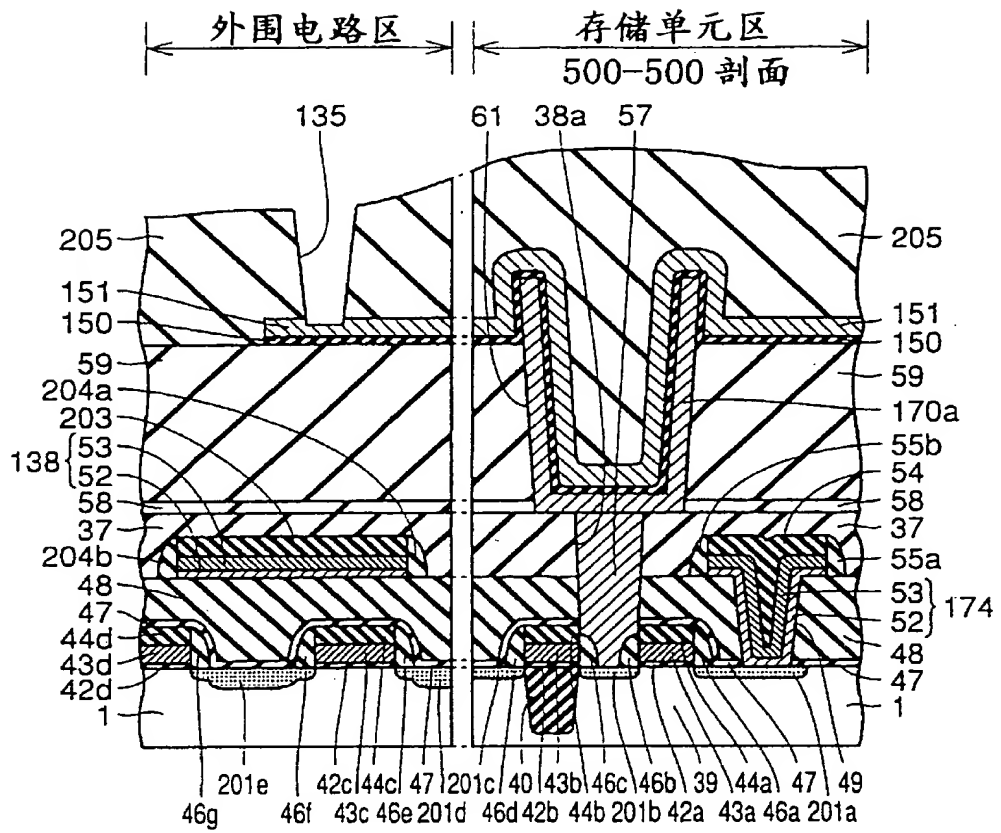


图 88

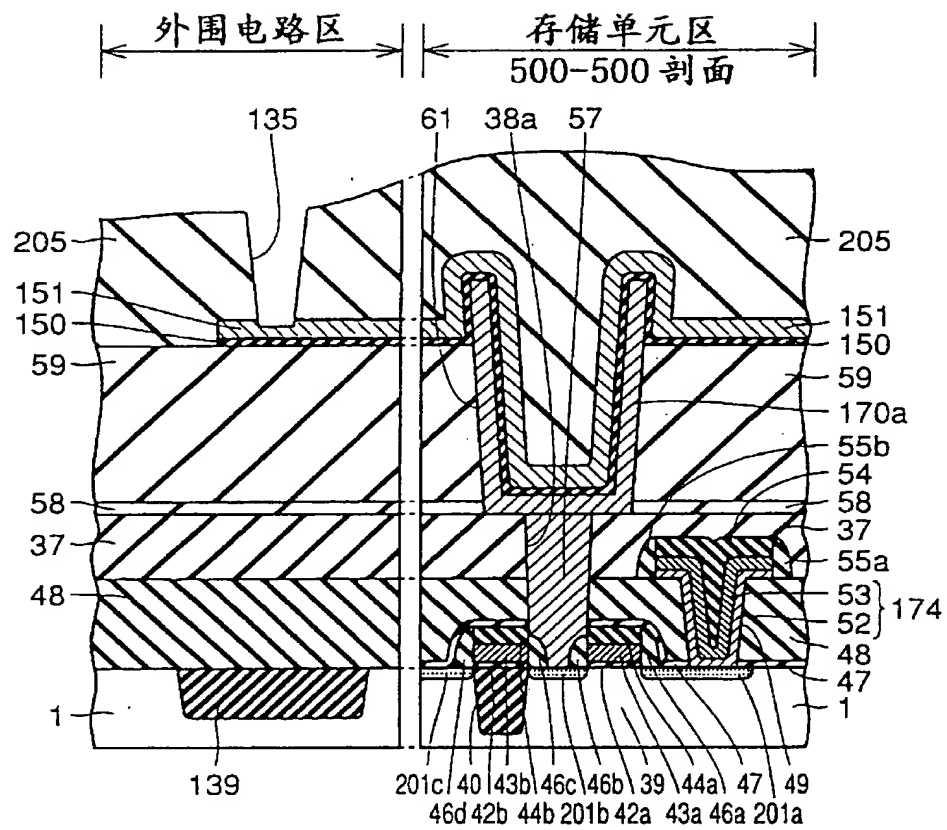


图 89

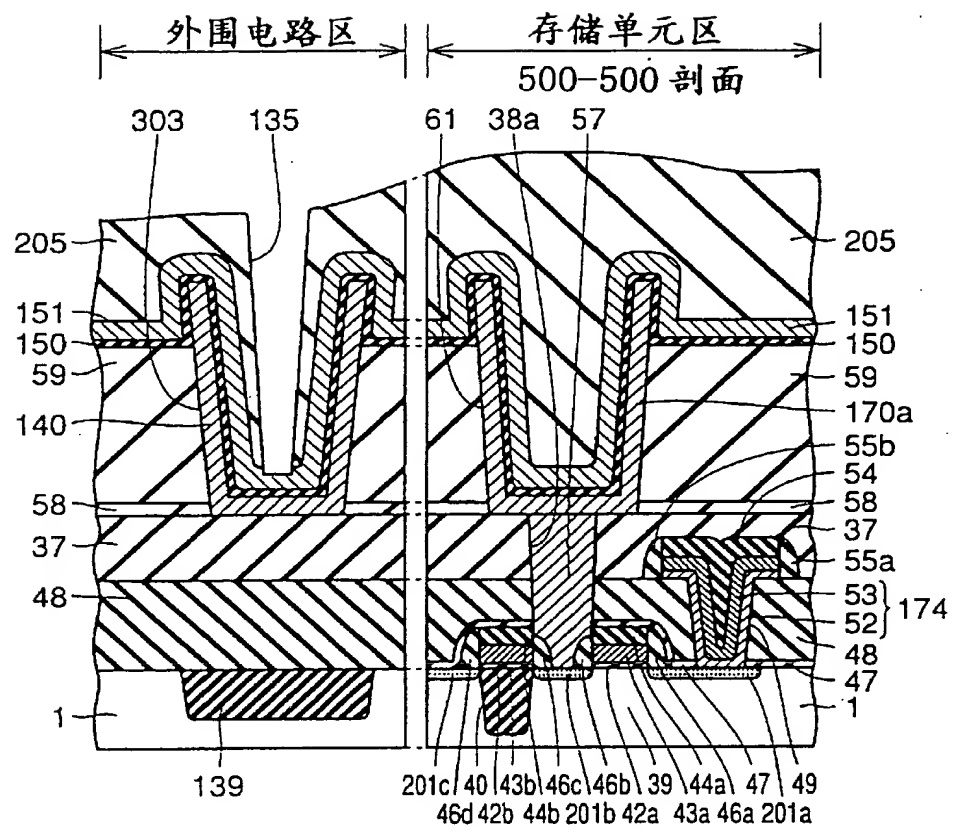


图 90

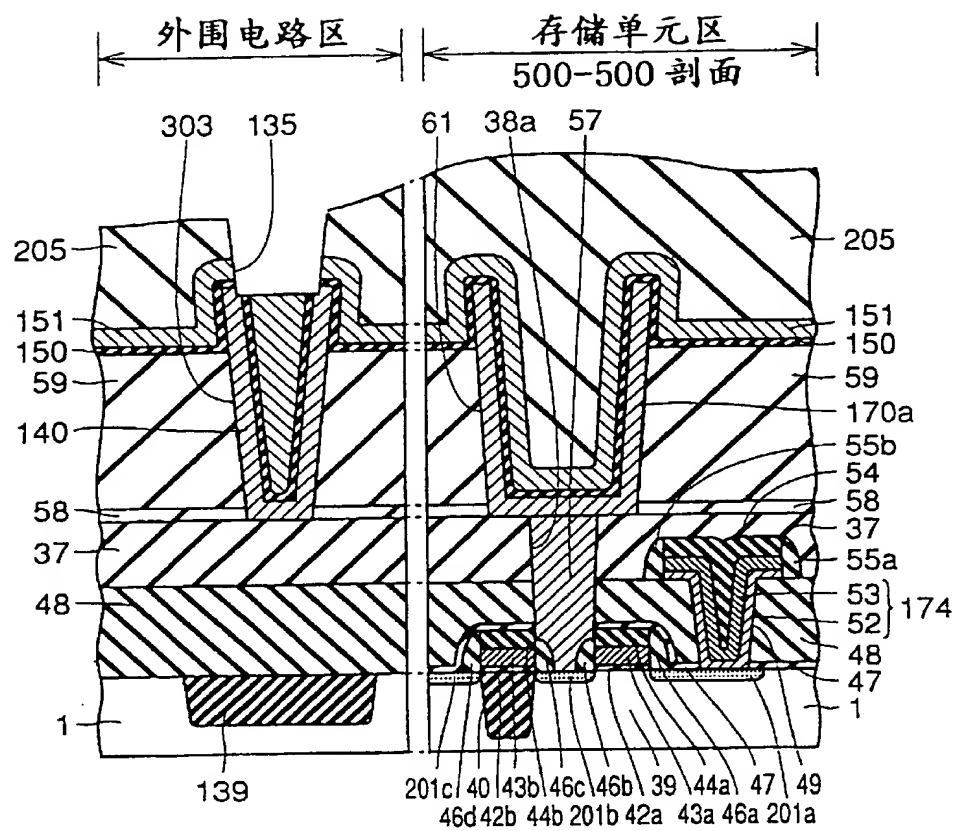


图 91



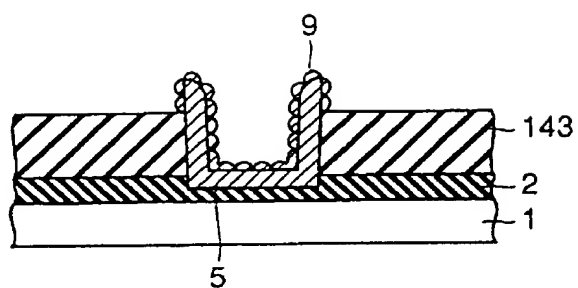


图 92

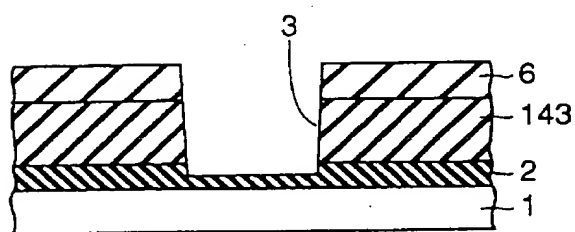


图 93

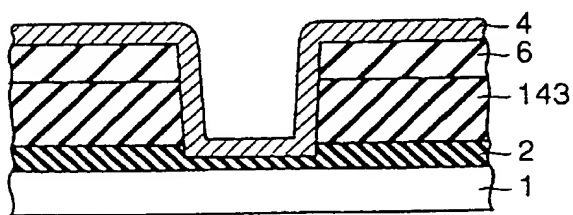


图 94

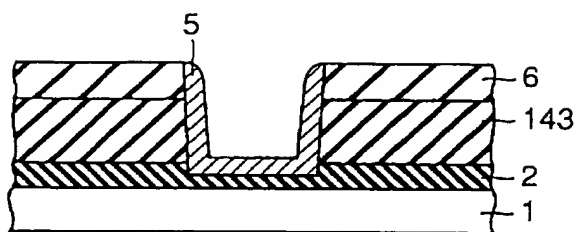


图 95

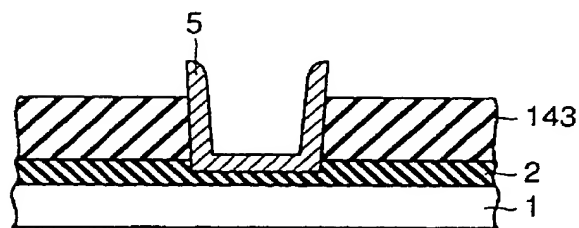


图 96

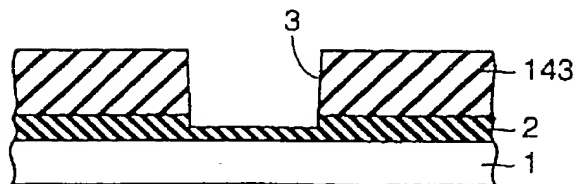


图 97

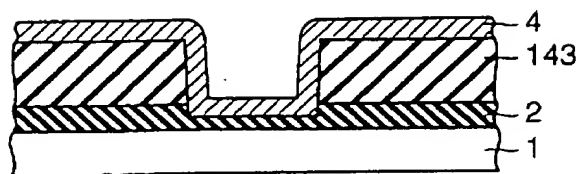


图 98

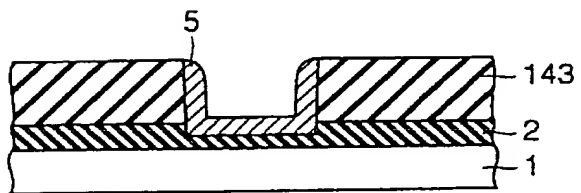


图 99

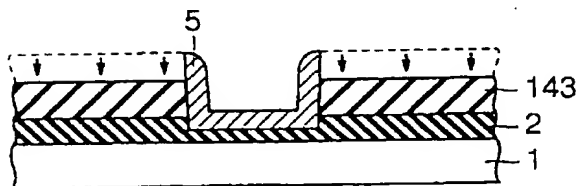


图 100

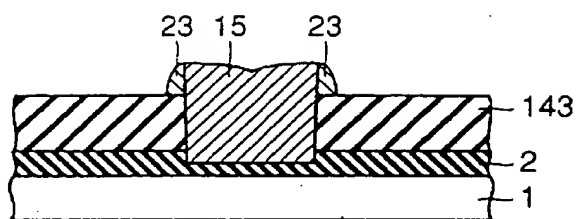


图 101

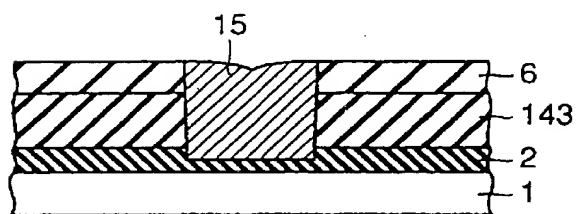


图 102

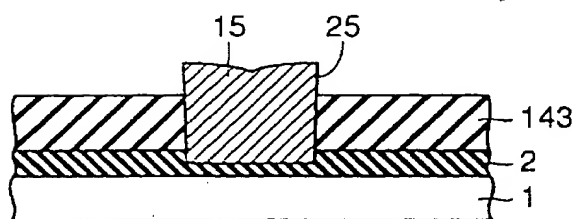


图 103

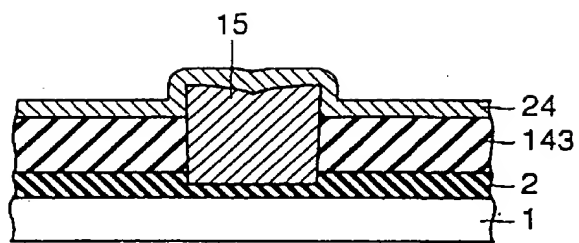


图 104

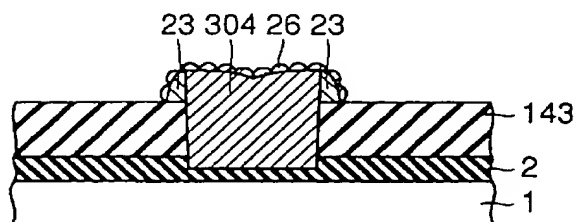


图 105

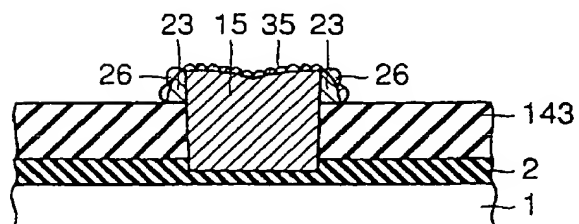


图 106

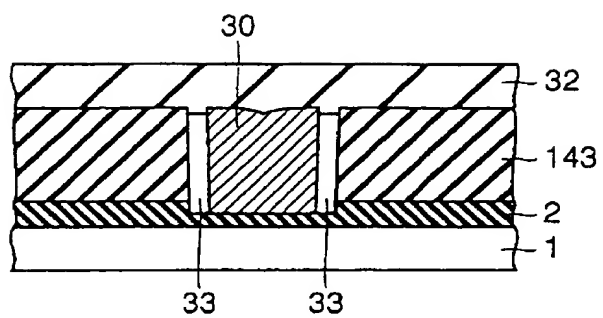


图 107

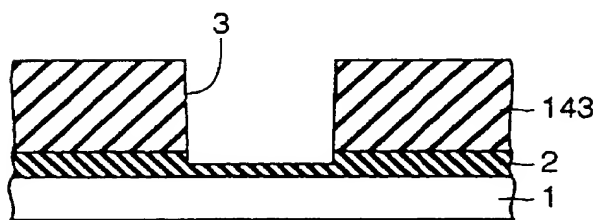


图 108

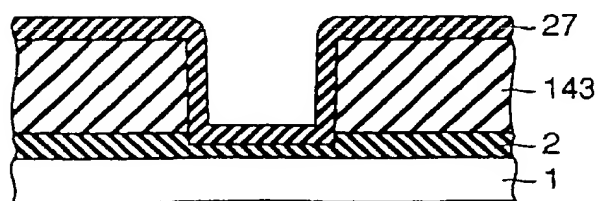


图 109

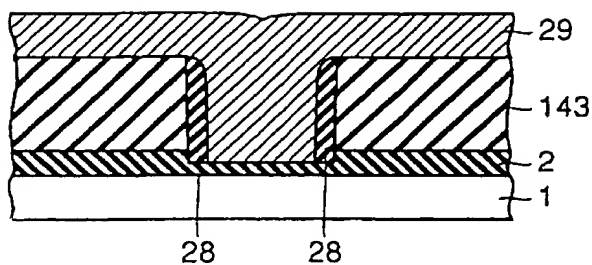


图 110

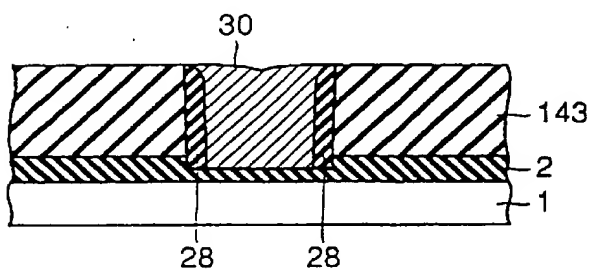


图 111

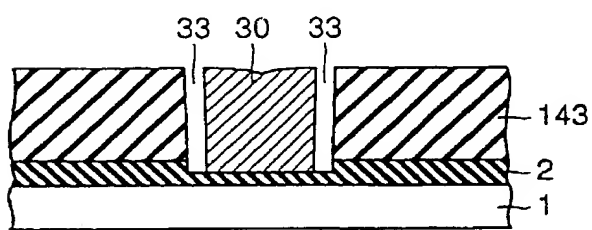


图 112

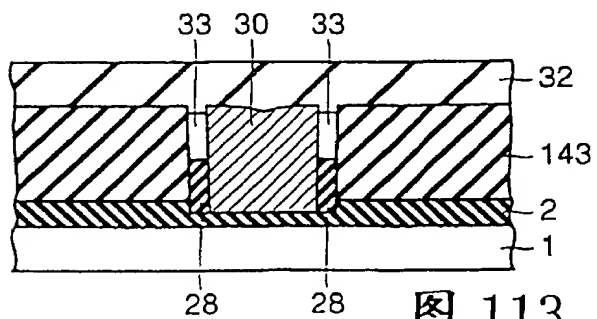


图 113

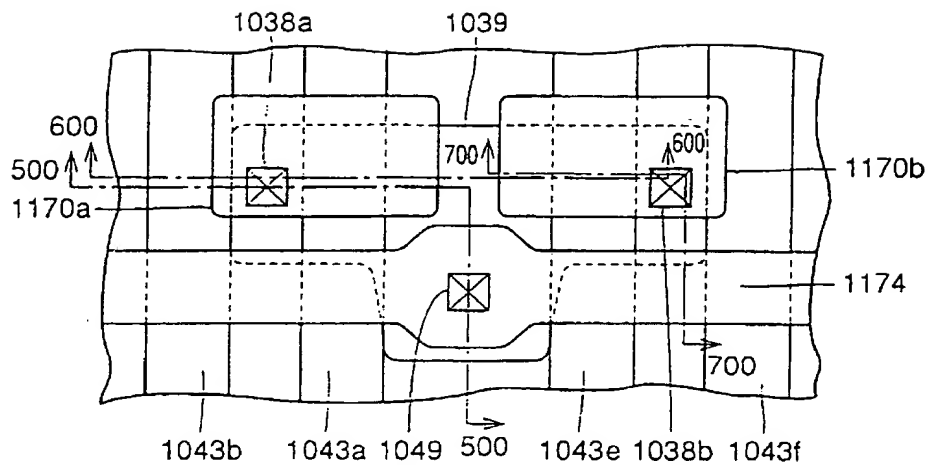


图 114 现有技术

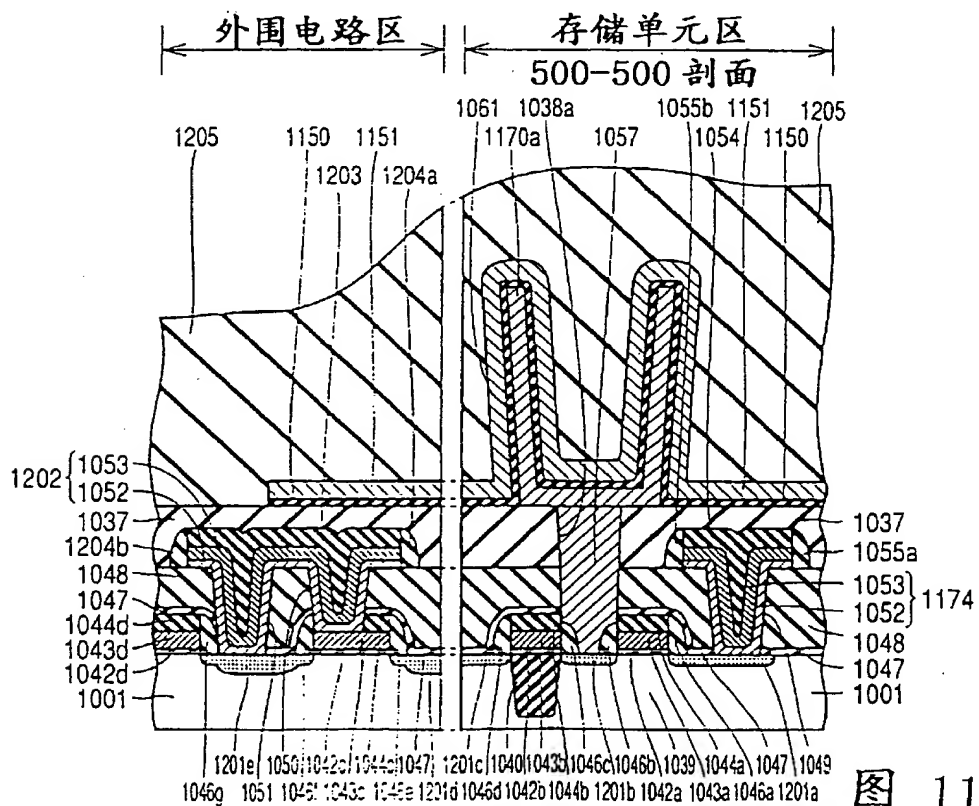


图 115  
现有技术



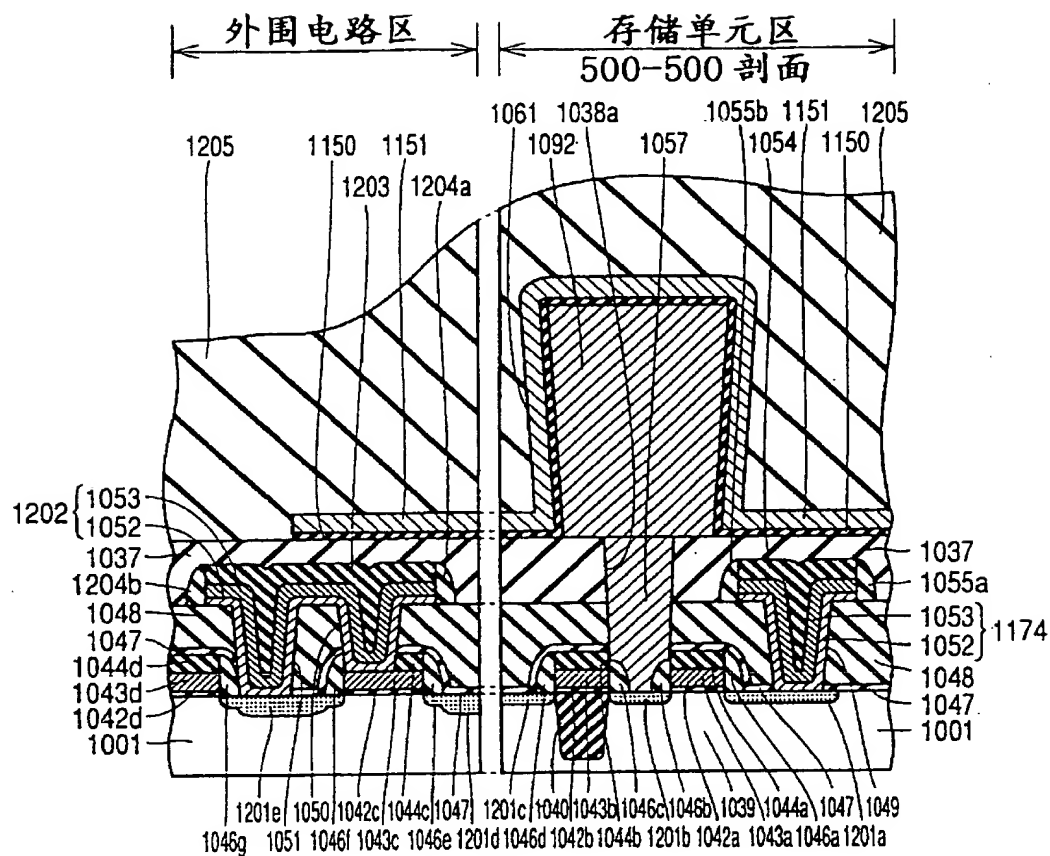


图 116

现有技术

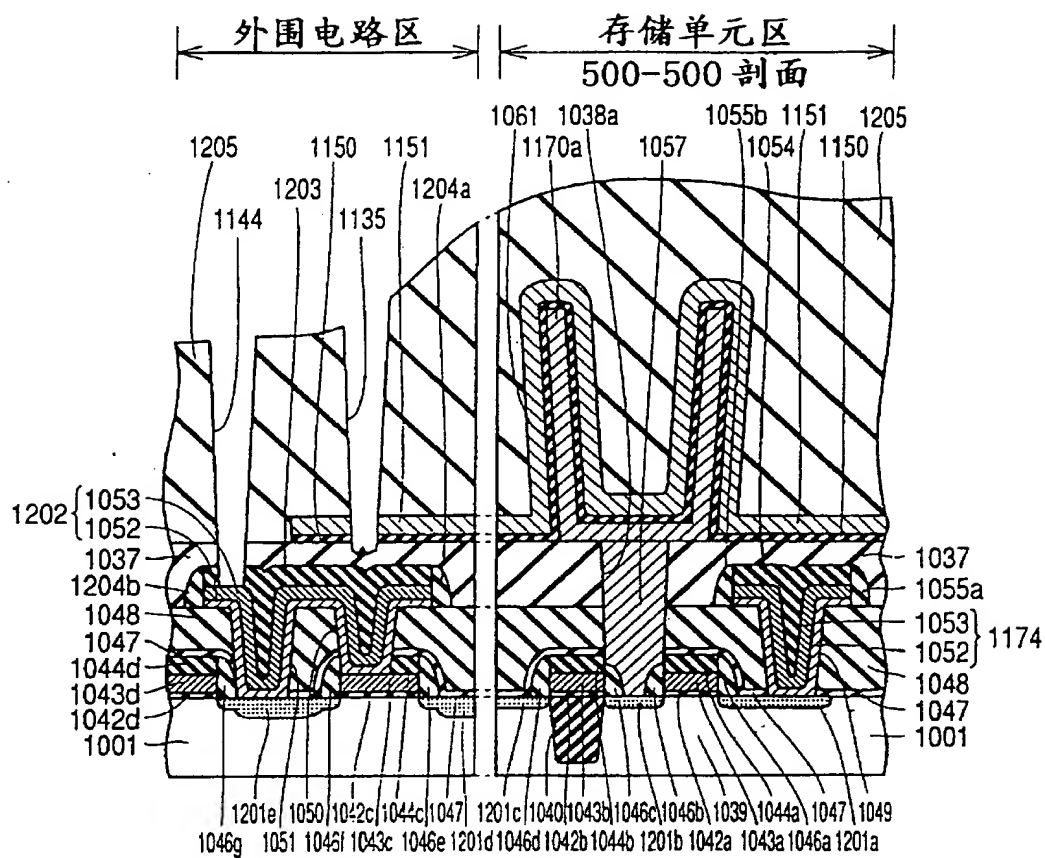


图 117 现有技术

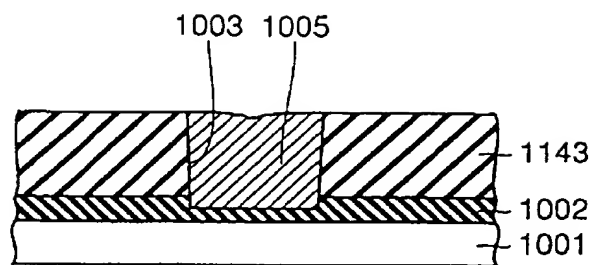


图 118 现有技术

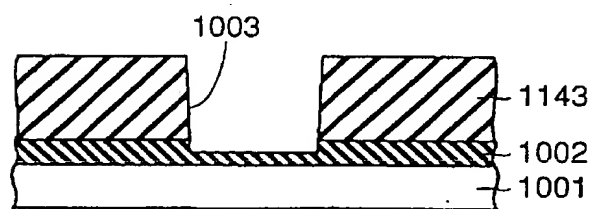


图 119 现有技术

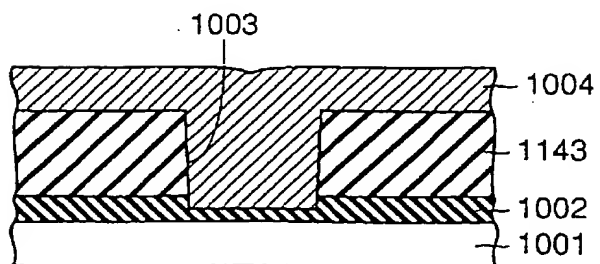


图 120 现有技术

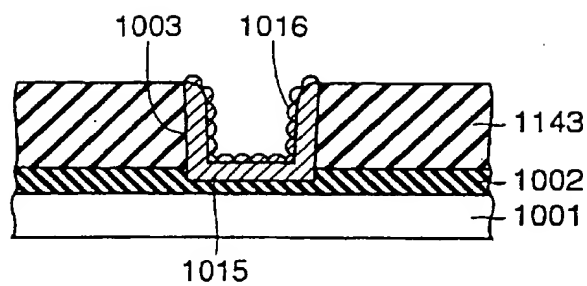


图 121

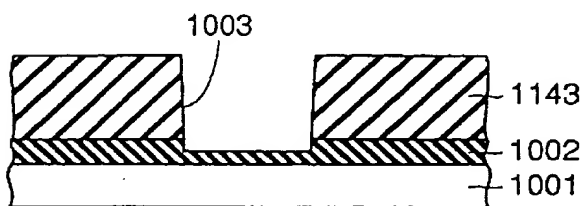


图 122

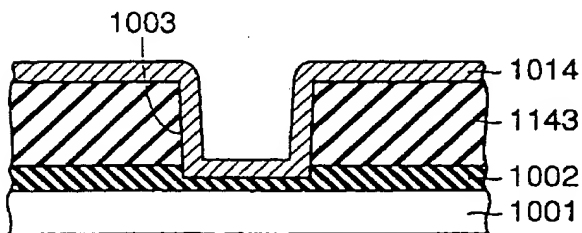


图 123

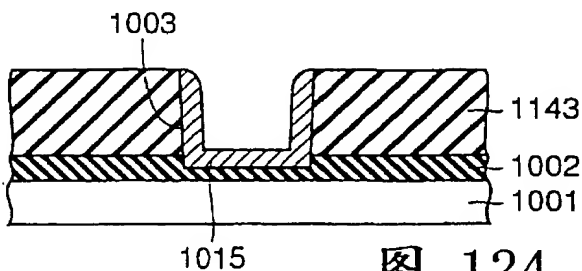


图 124

A preform or part according to the present invention may comprise any convenient number of grooves and/or slits in the tubes and/or rod. Thus, the number of innermost longitudinally extending grooves and/or slits with respect to a centre of the preform or part may be at least 2, such as at least 3 or such as at least 4. It is also within embodiments of the invention that the number of innermost longitudinally extending grooves and/or slits with respect to a centre of the preform or part is at least 6 or at least 8. Furthermore, it is also within embodiments of the invention that the number of innermost longitudinally extending grooves and/or slits with respect to a centre of the preform or part is at least 12, such as at least 18, such as at least 24, such as at least 30, such as at least 50 or such as at least 100.

The present invention also covers embodiments in which for the rod or at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits are at least 2, such as at least 3 or such as at least 4. Preferably, for the rod or at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits may be at least 6 or at least 8. Furthermore, it is also within embodiments of the invention that for the rod or at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits are at least 12, such as at least 18, such as at least 24, such as at least 30, such as at least 50 or such as at least 100.

The present invention also covers embodiments in which for the rod and at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits are at least 2, such as at least 3 or such as at least 4. Preferably, for the rod and at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits may be at least 6 or at least 8. Furthermore, it is also within embodiments of the invention that for the rod and at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits are at least 12, such as at least 18, such as at least 24, such as at least 30, such as at least 50 or such as at least 100.

The present invention further covers embodiments in which the preform or part comprises at least two concentric tubes having grooves and/or slits, where for each of the two tubes the number of grooves and/or slits are at least 2, such as at least 3 or such as at least 4. Here, the preform or part may comprise at least two concentric tubes having grooves and/or slits, where for each of the two tubes the number of grooves and/or slits are at least 6 or at least 8. It is also within embodiments of the invention that the preform or part comprises at least two concentric tubes having grooves and/or slits, where for each of the

two tubes the number of grooves and/or slits are at least 12, such as at least 18, such as at least 24, such as at least 30, such as at least 50 or such as at least 100.

5 The grooves/slits may be arranged so as to substantially form channels in the preform or part. In the present context, "substantially form" channels means that the grooves/slits that extend along the preform or part may not be completely sealed off in the longitudinal direction due to manners of fabrication or minor non-uniformities in the longitudinal direction.

10 It should be understood that the tubes and/or rods used in an embodiment of a preform or part according to the third aspect of the present invention may be selected from any of the embodiments of tubes and/or rods according to the first aspect of the present invention. Thus, for a tube or rod having grooves and/or slits, each or at least part of said grooves and/or slits may be arranged on an outer surface of the tube or rod. Preferably, all or at  
15 least a plurality of said grooves and/or slits are arranged substantially parallel to each other and extending in the longitudinal direction of the tube or rod. Alternatively, each of said grooves and/or slits is arranged as helical grooves and/or slits along the outer surface. It is preferred that the grooves and/or slits are arranged at predetermined positions along the outer surface of the tube or rod.

20

It is also within the third aspect of the invention to have a preform or part wherein for a tube having grooves and/or slits, each or at least part of said grooves and/or slits are arranged as along an inner surface of said tube. Here, the grooves and/or slits may be arranged as helical grooves and/or slits along the inner surface of said tube.

25

It is preferred that a first concentric tube having grooves and/or slits is sleeved inside a second concentric tube and/or that all the concentric tubes are sleeved inside each other in a substantially close-packed manner in order for the grooves and/or slits to form channels being substantially sealed off in the longitudinal direction and thereby being substantially  
30 isolated from each other. Due to potential minor non-uniformities in the longitudinal direction of the tubes, it may potentially not be possible to avoid unintentional, minor gaps between tubes (non-groove/slit type of minor gaps). Thereby, also complete sealing off of all channels in the longitudinal direction may be hindered. This is the reason for using the term "substantially close-packed", "substantially sealed off" and "substantially isolated" in the  
35 present context.

Preferably, the preform or part comprises at least 3, such as at least 4, such as at least 5, such as at least 8, such as at least 10 concentric tubes being sleeved inside each other in a substantially close-packed manner in order for the grooves and/or slits to form channels  
5 being substantially sealed off in the longitudinal direction and thereby being substantially isolated from each other. Hereby, a significant number of channels surrounding the centre of the preform or part may be obtained, which may result in a significant number of microstructured feature surrounding the core of a microstructured fibre drawn from the preform.

10

It is also within the third aspect of the present invention to have embodiments of a preform or part, wherein a concentric tube having grooves and/or slits is sleeved inside a concentric tube having no slits or having no slits and no grooves, or wherein a concentric tube having grooves is sleeved inside a concentric tube having grooves.

15

The third aspect also covers embodiments in which the rod comprises parallel grooves in the longitudinal direction, said parallel grooves being formed on the outer surface of the rod. Here, the parallel grooves in the rod may be placed substantially equidistant to each other in a substantially circular symmetric pattern. Alternatively, the invention furthermore  
20 covers embodiments in which the rod has no grooves extending in the longitudinal direction.

According to a further embodiment of the third aspect of the invention, the rod may be sleeved inside the first concentric tube, where the first concentric tube has no grooves  
25 and/or slits, or, alternatively, where the first concentric tube has grooves and/or slits.

According to an embodiment of the third aspect of the invention, the preform or part may comprise at least 2, such as at least 3 or such as at least 4 concentric tubes having grooves and or slits extending in said longitudinal direction.

30

Preferably, the preform or part comprises an outer concentric tube having no grooves or slits.

The preform or part according to embodiments of the third aspect of the invention may  
35 have a plurality of the grooves being parallel and extending the entire length of the preform

or part. Alternatively, a plurality of the grooves and/or slits may be parallel and extend only a limited part of the length of the preform or part. It is preferred that the grooves and/or slits for each tube and/or rod are placed substantially equidistant to each other in a substantially circularly symmetric manner with respect to a centre of said each tube and/or rod. In the present context, "substantially equidistance" will mean that it is desired to have an ideally equidistance between grooves/slits but that manners of production may alter this. The accuracy in the etching process will determine to what degree the distance between grooves/slits and there position can be controlled, hence, the term "substantially circularly symmetric" may refer to the potential minor inaccuracy in position of the channels.

10

It should be understood that the preform of part of the third aspect if the invention may have tubes with different refractive index or with refractive index different to the rod. However, according to an embodiment, the preform or part may comprise at least two concentric tubes having the same refractive index. It is also within an embodiment that the rod and the first concentric tube have the same refractive index.

15

According to an embodiment of the third aspect of the invention, the inner part or bottom part of the innermost longitudinally extending grooves and/or slits with respect to the centre of the preform or part may be arranged at a distance greater than or equal to 0.5 times the total radius of the preform taken from the centre to the outer surface of the preform.

20

Furthermore, the third aspect also covers an embodiment in which the rod has a predetermined refractive index profile with a high index centre region, and wherein the inner part or bottom part of the innermost longitudinally extending grooves and/or slits with respect to the centre of the preform or part are arranged at a distance greater than or equal to 3 times the radius of said high index centre region. Here, the index profile of the rod may furthermore comprise a low index outer region surrounding said high index centre region. The index profile of the rod may be provided by use of doping techniques. The innermost longitudinally extending grooves and/or slits may be arranged in the rod, or the innermost longitudinally extending grooves and/or slits may be arranged in a tube.

25

30

Also in the third aspect of the invention it is preferred that the grooves and/or slits have dimensions in the cross section in a range from 0.5mm to 50mm, such as from 0.5mm to 5.0mm, such as from 5.0mm to 20mm, such as from 20mm to 50mm. It is often most practical to work with tubes and/or rods of dimensions allowing the above-mentioned groove/slit dimensions.

35



According to an embodiment of the present invention, the preform or part may include a first region of a first type of tube of a first material and a second region of a second type of tube of a second material, said first material and second material having different softening  
5 temperatures. This is in order to fabricate microstructured fibres that are advantageous with respect to splicing issues.

It should be understood that embodiments of the preform or part according to the third aspect of the invention or parts thereof may be fabricated using one or more methods  
10 selected from the above-described advantageous methods according to the second aspect of the present invention.

According to the third aspect of the present invention there is furthermore provided a method of fabricating a microstructured fibre, said method comprising the steps of:  
15 providing a preform according to an embodiment of the third aspect of the invention, drawing this preform into a microstructured fibre using one or more steps including drawing of said preform into a cane at an intermediate drawing stage. Here, a pressure inside each or at least part of the tubes or inside the channels of each or at least part of the tubes may be controlled during the step involving drawing of the preform into fibre and/or cane in  
20 order to control more accurately the size and shape of the features in the final microstructured fibre.

According to a fourth aspect of the present invention there is provided a preform for manufacturing a microstructured fibre, the preform having a length in a longitudinal  
25 direction and a cross section perpendicular thereto, said preform comprising a single capillary tube in the centre of the preform. The single tube has an inner cross-sectional dimension,  $d_{\text{inner,tube}}$ , and an outer cross-sectional dimension  $d_{\text{outer,tube}}$ . The preform further comprises a multitude of solid rods surrounding the capillary tube. A plurality of the multitude of solid rods has an outer cross-sectional diameter,  $d_{\text{outer,rod}}$ . The preform  
30 comprises further a first overcladding tube surrounding the single capillary tube as well as the multitude of solid rods. Preferably, some or all of the solid rods are close-packed in order to form a periodic arrangements of interstitial voids. Optionally for e.g. mechanical stability of the preform, the preform may comprise outer capillary tubes that surround a majority of the solid canes. Such outer capillary tubes should be positioned at a distance  
35 sufficiently far away from the central, single capillary tube, such that the outer capillary

tubes may not form regions where any significant amount of light is transmitted in the final fibre.

In a preferred embodiment,  $d_{\text{outer,rod}}$  is substantially equal to  $d_{\text{outer,tube}}$  in order to realise  
5 close-packing of the rods around the single tube. It is also within an embodiment of the fourth aspect of the invention that  $d_{\text{outer,rod}}$  is in the range of 0.1 times  $d_{\text{outer,tube}}$  to 0.6 times  $d_{\text{outer,tube}}$ , such as around 0.3 times  $d_{\text{outer,tube}}$ . This is preferred in order to have a close to uniformly sized features in the preform allowing more simple fibre drawing. In one or more preferred embodiments the dimensions of the tube and/or rods may be selected so that  
10  $d_{\text{inner,tube}}$ ,  $d_{\text{outer,tube}}$ , and  $d_{\text{outer,rod}}$  are in the range from 0.5mm to 20mm, such as between 1.0mm to 3.0mm. For practical reasons, these ranges represent preferred ranges. In particular, rods and tubes are widely available in dimensions from 1 to 3 mm.

In a preferred embodiment of the fourth aspect of the invention, the preform may include a  
15 first region of a first type of rods of a first material and a second region of a second type of rods of a second material, said first material and second material having different softening temperatures.

According to the fourth aspect of the present invention there is also provided a method of  
20 fabricating microstructured fibres comprising the steps: providing a preform according to an embodiment of the fourth aspect of the invention, drawing this preform into a cane, either while either sealing the cane in one end and drawing said cane into fibre from an opposite end or while providing an active control of a pressure inside the cane from one end and drawing the cane into fibre from an opposite end. Here, the preform may be drawn into a  
25 cane using a lower-than-atmospheric pressure inside the first overcladding tube of the preform in order to fix the multitude of solid rods in a close-packed manner while keeping open interstitial voids between adjacent solid rods. In this manner, the interstitial voids may be substantially periodically distributed in a honeycomb structure. In this context "substantially periodically distributed" is used for the same reasons are previously  
30 discussed relating to minor longitudinal non-uniformities. It is preferred that the pressure inside the single capillary tube is controlled during drawing of the preform to cane.

The methods according to the fourth aspect of the invention may also cover an embodiment, where the cane is placed in a second overcladding tube to yield a second  
35 preform. Preferably, the pressure inside the second overcladding tube is controlled during

drawing of the second preform into fibre in order to control the dimension and/or shape of the interstitial voids in the fibre.

According to a fifth aspect of the present invention there is provided an optical fibre having  
5 a longitudinal direction, said optical fibre having a length in the longitudinal direction and a cross section perpendicular thereto, wherein said fibre in the cross section comprises: a first region being microstructured and having a first background material, and a second homogenous region of a second material, said first background material and said second material having different softening temperatures. This may provide microstructured fibres  
10 with improved properties with respect to splicing.

It should be understood that the optical fibre of the fifth aspect of the invention may be drawn from any of the above described preforms, wherein the preform includes a first region of a first type of tube of a first material and a second region of a second type of tube  
15 of a second material, said first material and second material having different softening temperatures, or from any of the above described preforms, wherein the preform includes a first region of a first type of rods of a first material and a second region of a second type of rods of a second material, said first material and second material having different softening temperatures.

20

It is preferred that the first region of the optical fibre has a substantially circular, ring-like shape, said first region being positioned substantially symmetrically around a centre of the optical fibre. In this context "substantially circular" and "substantially symmetric" are used for the same reasons as previously discussed relating to minor longitudinal non-  
25 uniformities, but may also refer to that the first region may be formed from a number of combined features – such as circular rods stacked in a ring around the core.

30

It is also preferred that the second material is a glass softer than pure silica such as silica doped with fluorine, phosphorous, and/or germanium.

The fifth aspect of the present invention also includes an optical fibre splice comprising at least one end of one of the above-described embodiments of an optical fibre having a microstructured first region.

- The fifth aspect of the present invention also includes a first long length of optical fibre comprising a first short length of one of the above-described embodiments of an optical fibre having a microstructured first region, and a second short length of an optical fibre. In the present context, "short length" refers to a length shorter than a total fibre distance
- 5 labelled "long length". It is important to notice that the short length may be in the range from a few centimetres to several kilometres or hundred of kilometres. Here, the second short length may be a length of a conventional, single mode fibre or of an optical fibre having a microstructured region.
- 10 In a preferred embodiment, the first long length of optical fibre having the first and the second short lengths, further comprises a third short length of a third optical fibre. Here, the first short length of microstructured fibre may serve as an intermediate fibre length between the second short length and the third short length. This may provide low propagation loss for light travelling from the second length of optical fibre to the third short length of optical
- 15 fibre and/or vice versa. Here, the third optical fibre may be an optical fibre having a microstructured region.

- For the preforms or optical fibres of the present invention having a microstructured region, it is preferred that said preforms or optical fibres in the cross section have a periodic
- 20 structure within said microstructured region, which preferably may be a hexagonal symmetry. However, it is also within embodiments of the present invention that the preforms or optical fibres in the cross section have a non-periodic structure within said microstructured region.
- 25 The present invention also includes an optical fibre selected from embodiments of the above described optical fibres having a microstructured region or made using a method selected from any of the above-described methods for producing an optical fibre having a microstructured region, wherein the microstructured region in the cross section has microstructured features that are isolated from each other. A plurality of the microstructured
- 30 features may have a centre-to-centre distance to a nearest neighbouring microstructured feature in the range from  $0.5\mu\text{m}$  to  $20\mu\text{m}$ , such as from  $0.5\mu\text{m}$  to  $2.0\mu\text{m}$ , such as from  $2.0\mu\text{m}$  to  $10\mu\text{m}$ , such as from  $10\mu\text{m}$  to  $20\mu\text{m}$ . These ranges may relate to microstructured optical fibres within various applications, such as relating to non-linear microstructured fibres, photonic bandgap guiding microstructured fibres, microstructured with special
- 35 dispersion properties, large mode area microstructured fibres etc.

Microstructured fibres of the present invention are mainly aimed at telecommunication applications, in accordance with general requirements in the telecommunication industry, So, a preferred embodiment of an optical fibre comprises one of the above-described fibres  
5 having a microstructured region that guide light in a single mode of propagation at a predetermined wavelength in the range from 0.3 $\mu$ m to 1.8 $\mu$ m.

It should be understood that the preforms or optical fibres of the above-described embodiments of the present invention may comprise silica-based materials. Silica is the  
10 preferred material in the telecommunication industry and may, naturally, also be preferred for the fibres of the present invention.

The present invention also covers embodiments wherein the preforms or optical fibres in any of the above-described embodiments comprise polymer-based materials. Polymers  
15 provide a potential range of advantageous due to high flexibility during manufacturing and may therefore be preferred for the fibres of the present invention.

In order to control more accurately properties such as bending losses and dispersion – potentially with tunability – preferred embodiments of above-described preforms or optical  
20 fibres may have an outer shape in the cross section that is non-circular, such as preferably elliptical in shape. Here, the outer shape may have a predetermined orientation that is determined with respect to an orientation in the cross section of the structure around the centre of the preform or microstructured fibre.

25 According to a sixth aspect of the present invention, there is provided a second long length of optical fibre, said second long length having a longitudinal direction and a cross section perpendicular thereto, said second long length of optical fibre comprising: a first short length of a first optical fibre; a second short length of second optical fibre; a third short length of a third optical fibre; said first optical fibre comprising a microstructure, said third  
30 optical fibre being a conventional optical fibre, said second optical fibre serving as an intermediate fibre between said first optical fibre and said third optical fibre in order to provide low propagation loss for light travelling from said first optical fibre to said third optical fibre and/or vice versa. In a preferred embodiment, the second optical fibre of the second short length comprises a first region of a first material and a second region of a

second material, where the first material has a softening temperature  $T_1$  and said second material has a softening temperature  $T_2$  being higher than  $T_1$ .

It is preferred that the first optical fibre of the first short length comprises a material  
5 constituting a background material in a microstructured volume of the first optical fibre. It is also preferred that the second optical fibre of the second short length in the cross section has the second material positioned substantially in a circular, ring-shaped region, substantially symmetric around a core of the second optical fibre. Here, the second material may have a lower softening temperature than said background material.

10

It is also within the sixth aspect of the invention that the second optical fibre of the second short length comprises a tapered core region in order to provide mode matching at both ends of the second optical fibre and thereby provide low propagation loss for light travelling from said second to third short length of optical fibre and vice versa.

15

It is preferred that the first optical fibre of the first length is an optical fibre selected from any of the above described fibres having a microstructured region.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

20

FIG. 1 shows schematically a setup for fabrication of preforms or parts thereof for microstructured fibres using laser ablation or laser etching.

FIG. 2 shows schematically another setup for fabrication of preforms or parts thereof for  
25 microstructured fibres using laser ablation or laser etching.

FIG. 3 shows schematically a solid rod and a hollow tube according to the present invention. The rod and tube each comprising six channels that may be realised using laser ablation or laser etching. The rod may optionally comprise a doped part. The channels may  
30 for example be fabricated sub-surface in a rod or a tube over a given length,  $L$ , as further shown schematically in the figure.

FIG. 4 shows (from top and down): a solid rod with parallel grooves along a distance of its length, a tube with parallel grooves along a distance of its length, an overcladding tube,  
35 and a preform with tubes having grooves along its length, the grooves forming air channels

due to a sleeving of the tubes in concentric manner. The preform may have a tube in the centre in order to provide a low-index core region in the fibre drawn from the preform. The grooves are preferably positioned in a two-dimensionally periodic structure, or in one or more concentric annular region. This may for example be used for realization of low-index core micro-structured fibre that guide light using photonic bandgap effects.

FIG. 5 shows (from top and down): a solid rod, a tube with parallel slits along a distance of its length, an overcladding tube, and a preform with tubes having slits along their lengths, the slits form air channels due to a sleeving of the tubes in a concentric manner. The preform may have a solid rod in the centre in order to provide a high-index core region in the fibre drawn from the preform.

FIG. 6 shows a photograph of a tube with a large number of slits that have been fabricated using a method according to the present invention.

FIG. 7 shows a photograph of a rod with a large number of grooves that have been fabricated using a method according to the present invention.

FIG. 8 shows a photograph of a tube with six slits that have been fabricated using a method according to the present invention.

FIG. 9 shows a photograph of a section of a preform according to the present invention. The preform may be used for fabrication of high NA fibres for use as for example cladding pumped fibre lasers or amplifiers.

FIG. 10 shows a schematic example (top) of the cross section of a preform according to the present invention that utilises a central rod having grooves extending in the longitudinal direction of the rod. The figure further shows a photographs (bottom) of a microstructured fibre fabricated using a central rod comprising six grooves.

FIG. 11 shows schematically an example (top) of a preform according to the present invention for fabrication of microstructured fibre that may guide light using photonic bandgap effects. The preform uses only a single capillary tube in order to realise a low-index core region. Fig. 11 shows further (bottom) a microscope photograph of a cane drawn from a preform according to the present invention.

Fig. 12 shows a scanning electron micrograph of the inner structure of a microstructured fibre fabricated by a method according to the present invention.

- 5 FIG. 13 shows schematically another example of a preform according to the present invention for fabrication of microstructured fibre that may guide light using photonic bandgap. The central tube is significantly larger than the rods surrounding the tube.

Fig. 14 shows schematic examples of potential problems related to splicing of prior art  
10 microstructured fibres to conventional optical fibres.

Fig. 15 shows schematic examples of fibre lengths according to the present invention, wherein the length comprises a microstructured fibre that incorporate low viscosity glasses at predetermined regions (equivalently the fibre comprises high viscosity glasses at (other)  
15 predetermined regions). The figure also includes schematic illustrations of cross sections of the optical fibres comprised in the fibre length.

Fig. 16 shows yet other schematic examples of fibre lengths according to the present invention, wherein the lengths comprise a microstructured fibre that incorporates low  
20 viscosity glasses at predetermined regions.

Fig. 17 shows yet another schematic example of a fibre length according to the present invention, wherein the fibre length comprises a microstructured fibre that incorporates low viscosity glasses at predetermined regions, and further comprises an intermediate fibre  
25 that incorporates low viscosity glasses at predetermined regions. The figure also includes schematic illustrations of cross sections of three optical fibres comprised in the fibre length.

Fig. 18 shows yet another schematic example of a fibre length according to the present invention, wherein the length comprises a microstructured fibre that incorporates low  
30 viscosity glasses at predetermined regions, and further comprises an intermediate fibre that incorporate low viscosity glasses at predetermined regions as well as a tapered core. The figure also includes schematic illustrations of cross sections of three optical fibres comprised in the fibre length.



Fig. 19 shows yet another schematic example of a fibre length according to the present invention, wherein the length comprises a microstructured fibre of a single material, and further comprises an intermediate fibre that incorporate low viscosity glasses at predetermined regions. The figure also includes schematic illustrations of cross sections of  
5 three optical fibres comprised in the fibre length.

Fig. 20 shows a photograph (top) of an optical fibre for use in a long fibre length comprising a microstructured fiber. The bottom part of the figure shows a schematic of the cross-section of the fibre.

10

Fig. 21 shows photographs of two fibre splices performed at a high power (top) and at a low power (bottom).

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

15

The present invention relates to a number of improvements for the realisation and use of microstructured fibres.

Microstructured fibres are generally divided into two types depending on the physical  
20 mechanism responsible for the light guidance: at an operating wavelength, index-guiding microstructured fibres are characterised by a core having a higher refractive index than a surrounding cladding region (as known from conventional optical fibres), and photonic bandgap microstructured fibres are characterised by a core having effectively a lower refractive index than a surrounding cladding region having periodically distributed features  
25 (see e.g. Broeng et al, *Optical Fiber Technology*, Vol. 5, pp. 305-330, 1999 for a presentation of the classification of the two groups). While the physical mechanism causing the waveguidance in the two types is different, the improvements disclosed by the present inventors relate to both types of microstructured fibres.

30 The present invention will mainly be described by way of example using a number of selected figures.

Firstly, the present invention relates to new preforms or parts thereof for microstructured fibres and methods for producing such preforms.

35

Preforms or parts thereof for microstructured fibres are generally made from glass containing columns of air arranged in a certain way that ensures the special light guiding properties of the fiber drawn from it. Usually the preform comprises bundles of tubes and rods that provide the air columns. Due to the afore-mentioned disadvantages of using a multitude of capillary tubes (see BACKGROUND OF THE INVENTION), it is advantageous to realize new types of preforms and methods for their fabrication. The present inventors have realized such a method where the air columns may be formed directly in a solid glass rod.

- 10 The glass used in preform fabrication for optical fiber, e.g. silica based glasses, usually are optically very transparent for light within a large wavelength range from infrared and down to near ultraviolet (UV). When applying very intense optical fields, e.g. from short laser pulses, higher order optical nonlinear processes may occur, such as multi-photon absorption. At certain levels this has been demonstrated to induce a change in the index of refraction of glass and at even higher intensities ablation occurs creating cavities in the bulk (see e.g. Philippe Bado, *Laser Focus World*, April 2000).

In the prior art, waveguides and microchannels created using laser ablation are demonstrated on a micrometer scale – the waveguides and microchannels are formed directly in the glass at the desired final dimensions. The present inventors have, however, realized that laser ablation can be used to form voids of millimeter dimensions in a solid glass rod or in a tube. The present inventors have further realized a method that utilizes millimeter-scale laser ablation for fabrication of preforms for microstructured fibres. Especially, the present inventors have realized that voids (10) with an elongated shape in the longitudinal direction of a fibre preform may be fabricated using a setup as schematically illustrated in Fig. 1. The elongated shape is obtained by transverse movement of either the perform (11) during laser ablation or of the laser beam (12) itself. The method provides a significant improvement for realization of ultra-clean preforms for microstructured fibres, as the method, in principle, allows contamination-free formation of channels inside a glass rod with channel lengths of several tens of centimeters and of cross-sectional dimensions of up to several millimeters. The method further provides a high accuracy – laser ablation provides a control of dimensions of better than 1 micron according to the above-mentioned reference. The high accuracy that is obtained results from a strong intensity dependence of higher order optical nonlinearities, wherefore ablation will occur only in very confined areas of the most intense optical fields. The

present method, therefore, provides a highly reproducible manner of fabricating preforms for microstructured fibres, and hence for the fabrication of microstructured fibres. Preferred lasers for the preform fabrication are pulsed lasers with high peak power, e.g. femtosecond laser systems or frequency doubled YAG lasers, also CO<sub>2</sub> laser in CW operation may be  
5 preferred.

The method may also include the use of more than a single laser beam for the formation of the channels inside the glass rod. For example, a high power beam with a broad focus may perform a low precise, millimeter-scale formation of the channels, while a less powerful  
10 beam with a smaller focus may be used to perform high precision adjustment of the dimensions of the channels. As another example, two or more beams (focused or non-focused) may coincide in a predetermined region within the preform to obtain a higher intensity than when using a single beam. By again moving the region of coincidence, either using beam or preform movement, elongated millimeter-sized features may be fabricated.  
15 The advantage of using more such crossing of multiple beams is that the focusing systems needs to be less precise, or it may completely be avoided.

The preform may, naturally, be consisting of a series of tubes of different doping species, if necessary.  
20

As an example, a glass rod or tube (11) can be made into a preform or parts thereof for microstructured fibres by mounting it in a holder (13) that will allow rotation of the glass rod or tube (11) along its axis into certain angular positions and directing a focused laser beam (12) into the rod or tube using a system of lenses (14) and mirrors (15). Starting from the  
25 inner part of the rod or tube, channels of glass free regions (10) can be formed by laser ablation by moving the focal point along the axis of the rod or tube. After a channel has been made the rod or tube is rotated a certain angle, determined by the design of interest, and another channel can then be made. By moving the lens in direction away from the rod or tube, channels can be made on larger radii in the rod or tube.

30 It is an advantage of the above-described method that the channels are fabricated in a manner where they are completely fixed in position with respect to each other. This allows a higher reproducibility of specific channel arrangements.

It is a further advantage of the method that the channels are protected from the outside atmosphere and, therefore, will have the lowest degree of contamination that can be imagined – yielding microstructured fibres with ultra-low absorption losses that are comparable to those of pure, fused silica.

5

The high degree of control of the laser beam during ablation provides a further advantage of the method, namely the possibility of fabricating practically arbitrary structures in the preform.

- 10 The present inventors have further realized that the preform fabrication for microstructured fibres may be done also by "drilling" the holes in a rod or tube (of glass, polymer or another material) by use of a powerful laser, e.g. a CO<sub>2</sub>-laser that is strongly absorbed by the glass or polymer material. This type of drilling is performed without mechanical means – as e.g. for the ultra-sonic drilling known from the prior art – and we use the term "drilling" to stress
- 15 the unconventional manner of forming the holes.

With respect to Fig. 2 that provide an example of the "drilling" process, a laser beam (20) is aimed on one end of a glass rod (21) and in a direction parallel to the axis of the rod. The glass in the laser beam path will evaporate and thus form a channel of air (22) in the rod.

- 20 This method provides a great freedom in designing the preform. Like the other example of the method realized by the present inventors this is a very clean manner of fabricating preforms that may be fully automated. Also, the method may reduce the complexity of the inventory to solid rods, simply, if used as the only method in preform fabrication. The above-described example is for a glass rod, but also other types of materials may be used
- 25 as well as a tube instead of a rod may be used.

The setup for fabricating a preform or parts thereof according to the above-described scheme can be as simple as that shown in Fig. 2. The glass rod (21) is mounted in a fixture (23) that holds the rod and rotates it around its axis to any predetermined angular position.

- 30 The laser beam (20) is directed towards the end of the glass rod by a mirror (24) on a translational stage (25). The first motion dictates the angular position and the latter determines the radial position of the hole to be "drilled".

In the methods described above, the laser processing may be performed from an outside

- 35 surface of the rod/tube or the processing may be performed sub-surface. As schematically

shown in Fig. 3, the channels (30) in a rod (31) comprising an optionally doped core (32) or in a tube (33) may be open in one end or both ends of the rod/tube. Alternatively, the channels may be made directly inside a rod or a tube leaving one end (34) or both ends (34), (35) of the rod/tube closed. The channels may, therefore, extend a given length, L, being shorter than or equal to the full length of the rod/tube. After realization of the sub-surface channels, the rod/tube may be cleaved or cut at a given position to give access to the channels, such that for example pressure control may be performed during further steps. Such further steps may include the rod/tube being used as a preform by themselves or as parts of a preform for drawing into microstructured fibre in one more steps. Naturally, the rod/tube may also be cleaved or cut at more than one position to open up the channels over the full length of the rod/tube.

The present inventors have realised yet another advantageous method for realising preforms for microstructured fibres. The method utilizes in preferred embodiments, a number of densely sleeved tubes at least one of these having grooves and/or slits along its length.

As an example, the method involves CO<sub>2</sub> laser etching of elongated grooves (40) on the surface of a tube (41) in its longitudinal direction – see Fig. 4. The tube (41) may afterwards be sleeved inside one or more tubes in a dense, concentric manner such that the grooves may form elongated channels. An arrangement of concentric tubes having elongated grooves may form a preform (42) suitable for manufacturing of microstructured fibres. In a cross-section of the preform, the sleeved tubes may form a number of ring-shaped regions that may result a number of annular regions of microstructured features in the final microstructured fibre. In order to close off the side walls of the channels in their longitudinal direction, it may be advantageous to heat the preform during or after sleeving of the tubes. It may be even further advantageous to apply a slight under pressure inside the tubes to ensure tight sleeving and closure of the side walls of the channels in the longitudinal direction. Naturally, a too strong under pressure would collapse the channels and should be avoided.

During drawing of the preform to fibre or an intermediate stage, it may be preferred to control the pressure inside the tubes – either each tube individually or all tubes together – to improve the control of the size and/or shape of the microstructure in the final fibre. Specifically, for the fabrication of microstructured fibres with a hollow core, it is preferred to

control pressure inside the innermost tube separately from the remainder of tubes as the central hole in the innermost tube has preferably a larger cross-sectional dimension than the cross-sectional dimension of the channels accessible from inside the remainder of tubes. Due to different dimensions, the innermost hole and the channels will most often  
5 behave differently during fibre drawing and it is, therefore, advantageous to control the pressure inside them separately.

As another example, the preform may contain a solid rod (43) with a multitude of elongated grooves (44) etched along its length, and the preform may further contain one or more  
10 concentric tubes surrounding the solid rod. These tubes may, naturally, contain the same type of above-discussed elongated grooves.

As the core of a microstructured fibre may be realised using the same material as the background material of the cladding (for example pure silica), it is preferred to have a  
15 certain number of voids surrounding the core in order to confine light efficiently. Also, it may be preferred to have certain number of annular regions of voids (rings) surrounding the core to provide low leakage losses of the microstructured fibre. Therefore, preferably the number of grooves in the rod or tube is around six or higher. While pure silica core microstructured fibres may be preferred for certain applications, the methods disclosed in  
20 the present invention may, naturally, also be employed for microstructured fibre comprising doped cores. Hence the present invention also covers rods with a given refractive index profile, as well as rods comprising various kinds of active dopants – such as for example Er, and/or Yb. For microstructured fibre with a low-index core, such as for example an air-guiding PBG fibre, it is also preferred to have a large number of voids placed in rings  
25 around the core. Hence, also for such types of microstructured fibres, it is preferred to have a number of tubes with a relatively large number of grooves, such as at least 6, 12, 18, 24, 30 or at least 36 grooves.

As yet another example, the tube may contain slits (50) that are formed using the same  
30 type of etching as used for the formation of the grooves – see Fig. 5. Naturally, two slits may not extend the entire length of a tube in order for the tube to remain in one piece.

The rods and tubes needed for the multi-sleeving type of preform may be fabricated using a setup resembling the one presented in Fig. 1, but where the grooves are formed on the

outside surface of the rods/tubes. For the fabrication of slits in the tubes, the etching may be done from the outside surface of a tube all the way through the tube wall.

Fig. 6 shows a photograph of a tube for a preform or parts thereof according to the present invention having a large number of slits. The slit have been fabricated using the above-described method using laser etching with a CO<sub>2</sub> laser. The photograph shows one section of the tube with slits. The slits only extend a limited length of the tube. It ensures mechanical stability to limit the lengths of the slitted sections and leave a section between these non-processed. A second tube that the slitted tube is sleeving into can be seen in left of the photo. The width of bridges between slits may be processed such that it ranges from some millimetres and down to some tens of microns. Practical limitations are determined by requirements on mechanical stability.

The tube in Fig. 6 was processed by a laser system based on a Howden laser with a maximum power of up to 2.8kW. The slits were etched in a pure silica tube with an outer diameter of 29mm and an inner diameter of 24mm, the etching was perform using 200W of power and the etching speed was 100mm/min. By setting the annular step of the rotation of the tube to 12°, 30 bars with a length of 100mm were made (a bar being the bridging region between two slits). Lower annular stepping was also performed down to 6° yielding a robust tube with slits of dimensions of less 100µm in width, and more than 50 slits.

Fig. 7 shows a photograph of a rod having a large number of grooves according to the present invention (top figure). The physical parameters of the grooves (width and depth) may be different in the different sections. The specific tube and rod shown in Fig. 6 and 7 has a large number of slits/grooves, respectively. The large number of slits/grooves (in excess of 50) is easily obtained by programming of the laser etching system. After mounting of the tube/rod in a setup as schematically shown in Fig. 1, the laser etching processes may be automated using programmable robotic techniques. Hence, manual work for realization of a large number of slits/grooves becomes very limited and compared to prior art methods of realizing microstructured fibres using manual stacking and attachment of capillary tubes for realization of voids in micro-structured fibres, the here-disclosed methods provide much lower manual work. Hence, production of microstructured fibres may be more automated using the present invention and reproducibility may also be improved using high-precision robotic techniques for the laser etching process.

The rod in Fig. 7 was processed by the same laser system as for the tube in Fig. 6, 60 grooves were etched in a silica rod with an outer diameter of 33mm, the etching was performed using 600W of power and the etching speed was 500mm/min.

- 5 As an improvement to the laser etching process, the present inventors have realized that it may be an advantage to rotate the focus of the laser beam during etching.

The large number of slits/grooves in Fig. 6 and 7 render the dimensions of the individual slits/grooves significantly smaller than the dimensions of the tube/rod itself. Fig. 8 shows  
10 another example of a tube according to the present invention; the tube has six grooves of dimensions that have a relatively small difference compared of the dimensions of the tube. The dimensions of the grooves are on the order of several millimetres, whereas the dimensions of the grooves/slits in Fig. 6 and 7 significantly smaller – as previously mentioned. Fig. 6, 7 and 8, therefore, show that a large range of dimensions as well as  
15 number of the grooves/slits are possible to fabricate using the here-disclosed methods.

For realization of for example air-clad fibres having a high numerical aperture (NA), it is an advantage to have a high air filling fraction in the air-clad layer. The here-disclosed methods provide an improved method for realizing high NA fibre based on an air-clad layer.  
20 Fig. 9 shows an example of a preform for an air-clad fibre realised using a method according to the present invention. The figure shows a photograph of an outer section of the preform. The preform consists of a central rod in a tube with a number of slits which again is sleeved inside another tube. The three elements have been fused together in a conventional drawing tower at a temperature of 2000°C and pulled into the preform that  
25 measures approximately 5mm in diameter.

High NA fibres find extensive use in for example cladding pumped fibre lasers or amplifiers. Such fibres may comprise a doped, active core and voids in an air-clad layer that are positioned at a significant distance away from the doped core. Typically in the final fibre,  
30 the core diameter is in the range from 5µm to 25µm and the inner parts of the air-clad layer are typically placed a distance of at least three times the core radius from the doped core. Hence, for realization of preforms for high NA fibres for use as fibre laser and amplifiers, it may, therefore, be preferred to have the grooves/slits/channels placed at a certain distance away from the doped core. In preferred embodiments, the grooves/slits/channels of a  
35 preform according to the present invention are positioned in at least one annular region



surrounding the preform centre, where a distance from the preform centre to an inner part of the grooves/slits/channels is more than half the preform radius. In other preferred embodiments, the grooves/slits/channels are positioned at a distance from a doped core of more than three times the radius of the doped core. The above-described distances refer to  
5 distances in the cross-section of the preform.

The present inventors have further realized methods that include fabrication of preforms where tubes and/or rods having grooves and/or slits are combined with the use of capillary tubes. As the guided mode in microstructured fibres is most strongly influenced by the  
10 structure in the core region and its nearest surroundings, it may be preferred only to have the innermost part of the preform formed using laser etched grooves and/or slits. Fig. 10 shows a schematic example (top) of the cross section of a preform with a combination of a solid rod (100) having grooves (101) along its length surrounded by a single, sleeving tube (102) that is further surrounded by a multitude of capillary tubes (103). The preform also  
15 includes an overcladding tube (104) surrounding the capillary tube (103), the sleeving tube (102), and the laser-etched rod (100).

Fig. 10 shows a photograph (bottom) of fibre pulled from preform comprising a central rod having six CO<sub>2</sub> laser written grooves, the rod with grooves being sleeved inside a first tube  
20 that again is surrounded by a number of capillary tubes stacked in an overcladding tube – as shown schematically in Fig. 10 (top). The outer diameter of the preform was 25mm and the fibre diameter is 125µm.

The sleeving of the rod with grooves into the first tube was performed in a lathe where the  
25 first tube was attached to the non-grooved outer surface of the rod under heat treatment. The heat treatment was done using a conventional lathe for processing of optical preforms. After sleeving, the preform element comprising the rod with grooves and the first tube was placed in an overcladding tube together with the capillary tubes to form the final preform. This preform was drawn in a conventional drawing tower. The drawing conditions and  
30 manners of controlling the voids may be found in literature, for example in the above-mentioned DiGiovanni et al. reference or references therein.

The six inner (laser-formed) holes became circular when pulling and they are uniform in diameter. The capillary-formed holes are less uniform and circular due to slack in stacking.  
35 This slack may be eliminated in various ways for example by using more dense stacking of

the capillary tubes (e.g. by using a larger number) or by using an overcladding tube with a non-circular inner shape (e.g. a hexagonal shape). Hence, a good uniformity of the voids in the final fibre may be obtained by using grooves.

- 5 For certain applications, it may be preferred that the various components of the preform are made of different materials – such as different glasses or different polymers. Particularly, the solid rod may consist of silica-based materials with various refractive index profiles. These index profiles may be obtained from doping techniques – fabricating the solid rod using for example modified chemical vapour deposition.

10

The grooves and/or slits may also be fabricated using other means than laser etching or laser ablation, such as for example mechanical sawing or mechanical drilling. Preforms or parts thereof comprising rods or tubes having a multitude of longitudinal grooves and/or slits manufactured by such means are also included in the present invention.

15

It is an advantage of the method utilising sleeving of concentric tubes that channels resulting from grooves/slits in the same tube/rod are at all times fixed in position with respect to each other. This provides improved reproducibility for the fabrication of microstructured fibres compared to prior art methods based on stacking of capillary tubes.

20

The present inventors have further realised that the here-disclosed methods that provide a position fixation of channels is further advantageous by providing a potential reduction of degrading effects in the final microstructured fibres – such as for example polarisation mode dispersion – that appear in prior art microstructured fibres due to non-symmetric arrangements of features in the cross section of the fibres. In the prior art method using stacking of tubes and/or rods, the tubes/rods may unintentionally slide away from desired positions during preform fabrication and/or fibre drawing resulting in non-symmetric microstructures in the cross section of the final fibres.

25

- 30 It is further advantage of the methods that utilises laser ablation and the method that utilises laser etching of grooves and/or slits that both methods may be fully automated yielding a high reproducibility.

- It is a further advantage of the method disclosed in this patent application that utilises laser etching or laser ablation of channels (including grooves and slits) that the method, in

35

principle, does not introduce contamination of the preform material as no mechanical means are used to form the channels, and the method may therefore be used to obtain ultra-clean preforms.

- 5 In the prior art, microstructured fibres that operate by photonic bandgap effects and that have been demonstrated experimentally have been fabricated using a high number of capillary tubes (see Knight et al, Science, Vol. 282, pp. 1476-1478, 1998; Cregan et al, Science, Vol. 285, pp. 1537-1539, 1999; West et al, proceedings of the European Conference on Optical Communications, pp. 41-42, 2000). Due to the aforementioned
- 10 disadvantageous of using capillary tubes for the fabrication of microstructured fibres, it is desired to limit most possible the use of capillary tubes. The present inventors have realized a method aimed at fabrication of microstructured fibres, where at only a single capillary tube is employed for the realization of the core and inner cladding region. Outer capillary tubes may optionally be used for mechanical or other non-optical reasons.

15

The method comprises a number of steps and it will be described using Fig. 11 and 12 as examples.

- As a first step of the method, a preform is provided. Fig. 11 (top) shows schematically a
- 20 cross section of a preform according to the present invention. The preform comprises a single, capillary tube (110) placed in a centre of the preform. Surrounding the single capillary tube (110) is a number of solid rods (111). The rods (111) have preferably a circular shape and preferably have an outer diameter that is substantially identical to that of the single capillary tube (110). The use of rods and a single capillary tube of substantially
- 25 identical outer diameter allow a close-packed stacking of the rods and the single tube -- providing a very regular pattern of interstitial voids (112). For optimum operation of a microstructured fibre drawn from the preform, it is important that as large a region as possible in and around the preform centre is close-packed. It is, therefore, desired to have as many rings of close-packed rods surrounding the single capillary tube as possible, such
- 30 as at least two rings, such as at least three, such as at least five rings. In practice, the number of rings of close-packed rods surrounding the single tube is limited as the preform in preferred embodiments comprises an overcladding tube (113) with a circular inner shape. In order for the close-packed rods and single capillary tube to be as well stabilized as possible inside the overcladding tube, it is may be preferred to introduce yet other rods
- 35 or optionally tubes (114) of usually smaller outer diameter than the rods.

As a second step of the method, the preform is drawn into a cane using a slight under pressure inside the overcladding tube. The under pressure assures close-packing of the rods and single capillary tube of identical outer diameters. Naturally, the under pressure must be controlled and not be too strong in order for the interstitial holes to remain open. The single capillary tube may either be open during drawing into cane, it may be sealed in the opposite end from which the drawing takes place, or preferably the pressure may be controlled actively and independently of the pressure in the overcladding tube.

- 10 An example of a cane having an outer diameter of around 3mm is shown in Fig. 11 (bottom). The photographic picture shows that the interstitial voids may be well positioned in a periodic structure in a region surrounding the centre of the cane.

As a next step, the cane may be drawn into fibre using a conventional drawing tower.

- 15 Additionally, the cane may be overcladded yet on or more times. Naturally, it may be advantageous to control also the pressure inside the cane during drawing into fibre in order to control the size and shape of the interstitial holes as well as of the central hole formed from the inside of single capillary tube in the original preform. The pressure inside the central hole may preferably be controlled independently. As an example of a
- 20 microstructured fibre that may be realised using the present invention, Fig. 12 shows a scanning electron micrograph of the inner structure of such a microstructured fibre. The interstitial holes are seen to have obtained a substantially circular shape and they are arranged as isolated, microstructured features in a very regular honeycomb pattern – a microstructured feature having a centre-to-centre distance to a nearest neighbouring
- 25 feature of approximately  $2\mu\text{m}$ . Both the arrangement and the centre-to-centre distance are as desired and comparable to prior art microstructured fibres guiding light by photonic bandgap effects (see the above-referenced article by Knight et al. in Science), but realised using a method where a high number of capillary tubes are stacked. It is, however, important that microstructured fibres fabricated using the here-presented method
- 30 potentially have much lower propagation losses due to improved cleanliness as previously discussed. Furthermore, as the glass quality – in terms of low impurities – are often better for solid rods than for capillary tubes, microstructured fibres realised by using the method disclosed by the present inventors will have lower propagation losses than microstructured fibres fabricated using the prior art method using a high number of capillary tubes. One of
- 35 the main reasons for this is the reduction of OH contamination, usually associated with the

glass surface. Hence, a reduction of the total surface area in a preform using rods as replacements for tubes is preferable. Furthermore, the reduction of inner surfaces that are generally more difficult to clean than outer surfaces (due to hindered access), the above-described method provides potentially lower total fibre losses.

5

- As holes of different size may behave differently during drawing, it will be advantageous to have the hole inside the single capillary tube to have a cross-sectional area substantially identical to that of a single interstitial void. From close-packed stacking of the rods, the interstitial voids will in total occupy an area of around 9% of the cross section. For the hole
- 10 in the single capillary tube to occupy around 9% of the total area of the capillary tube, is desired to have a certain relation between the inner and outer diameter of the single capillary tube. Due to the fact that the rods will melt together during drawing into cane, the interstitial voids will occupy an area less than 9% - more likely around 8%. Hence, it may be preferred to have the inner diameter around 0.3 times the outer diameter. For certain
- 15 applications, it may, however, be preferred to have a different relation between the inner and outer diameters in order for the resulting microstructured fibre to have specific waveguiding properties, such as e.g. specific dispersion properties. In most such cases, the inner diameter will be in the range of between 0.1 and 0.6 times the outer diameter.
- 20 With respect to reproducibility and longitudinal uniformity of the fabricated microstructured fibres, it is an advantage of the above-described method of realising microstructured fibres with honeycomb cladding structures and a low-index core that only an outer diameter must be controlled. The prior art method, which utilises stacking of capillary tubes and rods, requires also an accurate control of the outer diameter of the rods and tubes, but it
- 25 additionally requires an accurate control of an inner diameter of the capillary tubes – this is avoided in the above-described method.

Other preforms according to the present invention are shown in Fig. 13. The figure shows examples of fibre comprising a single central capillary tube (130) of significantly larger

30 dimensions than the surrounding solid canes (131). Again, a large overcladding tube (132) is used for holding the preform together.

It is an advantage of all methods presented in this patent application compared to methods based on extrusion that contamination of the fibre preform material may be significantly

reduced. This is an important advantage in order to obtain microstructured fibres with low propagation losses.

The rods, tubes and the preforms or parts thereof according to the present invention may  
5 be handled in manners similar to the handling of prior art rods, tubes and preforms for drawing microstructured fibres (see for example the afore-mentioned DiGiovanni et al. reference or references therein). For drawing of microstructured fibres from glass-based preforms according to the present invention, similar drawing conditions as described by DiGiovanni et al. may be used (including temperature, pulling speeds etc.). For other  
10 materials of the background material, for example polymer, other drawing conditions may be used. For polymer-based preforms or parts thereof according to the present invention, drawing and handling conditions as for example described by Eijkelenborg et al. in Optics Express, Vol. 9, No. 7, page 319, 2001, or by Argyros et al. in Vol. 9, No. 13, pp. 813, 2001 may be employed also for the present invention.

15

The present inventors have further realised manners of fabricating microstructured fibres that may provide low splicing losses to other microstructured fibres as well as to conventional optical fibres.

20 The present inventors have realised that microstructured fibres according to the prior art may be problematic to splice, due to expanding or collapsing of air holes during splicing with usual parameters, or splicing with low mechanical pull strength may result for example due to non-adhesive connection at the splice. The potential problems are illustrated schematically in Fig. 14 for a splice between a microstructured fibre with elongated air  
25 holes (140) and a conventional fibre with a doped core (141). With usual splicing parameters the splice may be too hot and the joining of the fibre ends may be performed too late – causing a collapse of the air holes in the end of the microstructured fibre – see Fig. 14 (top). If, on the other hand, the joining is performed too fast – with respect to the time of heating the end of the microstructured fibre - the holes may expand significantly  
30 due to the fact that air which expand during heating may not escape the region around the fibre joint (see Fig. 14 (middle)). Both cases of collapsing and expanding air holes will degrade the waveguiding properties of the microstructured fibre and introduce an undesirably increased coupling loss between the microstructured fibre and the conventional fibre. In order to avoid the collapse or expansion of the air holes, it could be  
35 imagined to lower the splicing temperature. A problem, using prior art fibres in this respect,

may, however, be an insufficient joint as illustrated schematically in Fig. 14 (bottom), where undesired gaps (142) exist in the fibre joint. Such undesired gaps may degrade the mechanical stability of the fibre joint, and is naturally disadvantageous.

- 5 The present inventors have realised microstructured fibres comprising one or more specially designed regions of low viscosity glass – compared to the viscosity of the glass in the region comprising the microstructure - that are advantageous compared to prior art microstructured fibres with respect to splicing losses. The present inventors have realised methods of fabricating such microstructured fibres, including methods of fabricating
- 10 preforms or parts thereof for such fibres, as well as the present inventors have realised a number of preferred designs of such fibres.

To identify the temperature at which glass articles deform under their own weight (for example, shaping through slumping), the so-called softening temperature ( $T_{7.6}$ ) is

15 designated. That is the temperature at which the glass has a viscosity of  $10^{7.6}$  dPa.s. The softening temperature is also referred to as softening point.

Typically  $T_{7.6}$  is around 1650-1700°C for a pure silica glass. For other types of glasses, for example various types of compound glasses,  $T_{7.6}$  may be significantly lower. Especially for

20 polymers  $T_{7.6}$  may be much lower than for pure silica, such as typically in the range of a few hundred degrees Celsius or less. The softening temperature of various materials, including silica and doped silica glasses may for example be found in text- or data books.

By incorporating in the fibre a material having a lower viscosity than the background

25 material of the microstructured part of the fibre, i.e. softening at lower temperature than the background material, good fusion of the two fibres can be obtained, while keeping the microstructure in the microstructured fibre substantially unchanged. The parameters of the splice are chosen so that the low viscosity material softens and adheres to the other fibre while the microstructure remains unchanged by the splicing process.

30

An example of a microstructured fibre and a fibre splice according to the present invention is illustrated schematically in Fig. 15. The microstructure (150) in the microstructured fibre is surrounded by a ring of softer material (151) extending from the outer edge of the microstructure to the outer edge of the microstructured fibre. The soft material layer can for

example be deposited by a chemical vapour deposition (CVD) technique, or by tube jacketing.

In one implementation the background material of the microstructure is pure silica and the  
5 low viscosity ring is made of silica doped with fluorine, or with phosphorus, or with germanium, or with chlorine, or with any combination of these.

Other examples of microstructured fibres according to the present invention and splices incorporating such fibres are illustrated schematically in Fig. 16.

10

In the basic implementation, the low viscosity material fills the whole fibre volume except the microstructure volume – as shown in Fig. 15. The volume shall be referred to as the overcladding volume. The present inventors have realised other designs of microstructured fibres comprising low viscosity glasses that may be further advantageous. Fig. 16 shows  
15 implementations where the low viscosity material (160) only partially fills the overcladding volume. Such implementation might be easier and less costly to realize than the basic implementation using standard fibre fabrication techniques.

20 The present inventors have further realised that the addition of an intermediate fibre placed between a microstructured fibre and a conventional fibre may be beneficial. An example of such a fibre long length including three shorter fibre pieces is schematically illustrated in Fig. 17. The intermediate fibre (170) may be a conventional fibre having a doped core (171) and including a low viscosity material region (172), like the microstructured fibre.  
25 An advantage of this addition is that the microstructured fibre and the intermediate fibre can be spliced robustly at a relatively low temperature without affecting the microstructure structure due to the contact of the low viscosity regions of both fibres. The other end of the intermediate fibre (173) can be spliced to the conventional fibre in the conventional manner since there are no air holes present at the splicing interface.

30

Fig. 18 illustrates yet another example of a fibre length according to the present invention. It is well known to those skilled in the art of microstructured fibres, that the propagation mode(s) supported by a microstructured fibre can be significantly different to the modes supported by conventional fibres. In order to provide a coupling with low losses of light  
35 travelling from a microstructured fibre to a conventional optical fibre (or the other way), the



present inventors have further realised that it is advantageous to introduce an intermediate fibre between the two fibres. The intermediate fibre preferably comprises both a low viscosity glass (180) and a core region (181) being non-uniform in the longitudinal direction of the intermediate fibre – such as for example a tapering. The non-uniformity provides mode matching at the two fibre splices (182) and (183) and the low viscosity glass (180) provides low splicing losses at the joint between the microstructured fibre and the intermediate fibre.

As another example of a length of fibre comprising a microstructured fibre, an intermediate fibre providing mode matching and spliceability, and a conventional optical fibre is illustrated in Fig. 19. In this example only the intermediate fibre comprises a material (190) with a low viscosity. The microstructured fibre comprises in this example only a single material (191) (apart from the material of the channels) having a higher viscosity than the material (190).

Although only intermediate fibres without microstructures have been presented in the examples, also intermediate fibres comprising microstructures are a part of the present invention.

As a demonstrator, the inventors have fabricated a solid fibre with an outer cladding consisting of highly fluorine-doped glass (2 wt%). This fibre consisted of 3 glass types: an outer F-doped cladding, an inner pure silica cladding and a Ge-doped core. The fibre resembles the intermediate fibre in Fig. 190, except that the low viscosity glass is placed in direct contact with the core. At the softening point ( $10^{7.6}$  dPa·sec), the viscosity of F-doped glass is around  $10^6$  dPa·sec. The outer diameter of the outer cladding was 125  $\mu\text{m}$ , the outer diameter of the inner cladding was 15  $\mu\text{m}$  and the core had a diameter of 3  $\mu\text{m}$ . The Ge doping concentration in the core was chosen so that the core supported only the fundamental optical transverse mode (LP<sub>00</sub>). A picture of the cleave facet of the realised fibre (top) and a drawing of the design (bottom) can be seen in figure 20. The figure shows schematically the core (200), the inner cladding (201), and the outer cladding (202).

To show that this glass material gets softer at lower splice temperatures than pure silica, this fibre was spliced to itself using a splice recipe optimised for standard single mode fibre (SMF28, Corning). The splice heating parameter is  $P = 20.5$  W. The result can be seen in Figure 21 (top). Firstly, the double-structure of the inner cladding and the core are clearly

seen from this side view picture (light region). Secondly, it is clear that these inner structures are "sagging". This is evidence of the outer cladding being soft during heating, thus allowing the inner structures to move during splicing.

- 5 Reducing the heating during splicing makes it possible for the outer cladding to "hold" the inner structures in place during splicing, thus keeping them straight. The splice heating parameter in this case is  $P = 18W$ . The result is seen in Figure 21 (bottom).

Finally, it should be mentioned that the improvements disclosed in the present patent

- 10 application relate to – but are not limited to - all presently known applications of microstructured optical fibres and of other optical fibres.

## CLAIMS

1. A tube for use in a preform for a microstructured fibre, said tube having an inner and an outer surface in a longitudinal direction along the axis of said tube and a cross  
5 section perpendicular thereto, and said tube having a number of grooves and/or slits arranged at pre-determined positions in the inner and/or the outer surface and extending in the longitudinal direction of the tube.
2. A tube according to claim 1, wherein the number of grooves and/or slits are at least  
10 2, such at least 3 or such at least 4.
3. A tube according to claim 1 or 2, wherein the number of grooves and/or slits are at least 6 or at least 8.
- 15 4. A tube according to any of the preceding claims, wherein the number of grooves and/or slits are at least 12, such at least 18, such at least 24, such at least 30, such at least 50 or such at least 100.
5. A tube according to any of the preceding claims, wherein the grooves and/or slits  
20 extend over a majority of the length of the tube.
6. A tube according to any of the preceding claims, wherein all or at least a plurality of said grooves and/or slits are arranged substantially parallel to each other.
- 25 7. A tube according to any of the preceding claims, wherein each of said grooves and/or slits are arranged as helical grooves and/or slits along the outer and/or the inner surface.
8. A tube according to any of the preceding claims, wherein all or at least a plurality of  
30 the grooves and/or slits extend the entire length of the tube.
9. A tube according to any of the preceding claims, wherein all or at least a plurality of the grooves and/or slits extend only a limited part of the length of the tube.

10. A tube according to any of the preceding claims, wherein the grooves and/or slits in the cross section are placed substantially equidistant to each other.
11. A tube according to claim 10, wherein the grooves and/or slits are placed in a substantially circularly symmetric manner with respect to the axis of the tube.
12. A tube according to any of the preceding claims, wherein the grooves and/or slits have dimensions in the cross section in a range from 0.5mm to 50mm, such as from 0.5mm to 5.0mm, such as from 5.0mm to 20mm, such as from 20mm to 50mm.
13. A tube according to any of the preceding claims, wherein a plurality of the grooves and/or slits have a length of at least 5cm, such as at least 10cm, such as at least 50cm, such as at least 100cm, such as at least 150cm.
14. A tube according to any of the preceding claims, wherein the tube consists of a silica-based glass material.
15. A tube according to any of the preceding claims, wherein the tube is fabricated using sol-gel techniques.
16. A tube according to claim 14 or 15, wherein the tube has a predetermined refractive index profile being realized using doping techniques.
17. A tube according to any of the preceding claims, wherein said grooves and/or slits are made using a laser ablation technique or a laser assisted etching technique.
18. A tube according to claim 14 and 17, wherein the tube is heated to a temperature around or above 800 °C during at least part of said laser ablation or laser etching.
19. A tube according to claim 17 or 18, wherein the grooves and/or slits are formed using a laser beam being incident on the tube or parts thereof from a direction substantially perpendicular to the longitudinal direction of the tube.

20. A tube according to any of the claims 17-19, wherein the laser is a pulsed or a CW laser, such as a frequency doubled YAG laser, or a CO2 laser.

21. A tube according to any of the claims 1-14, wherein said grooves or slits are  
5 formed directly in the tube during fabrication of the tube using a mould with a predetermined shape.

22. A tube or rod according to any of the claims 1-14 or 16, wherein said grooves and/or slits are made using a mechanical milling or drilling technique.

10

23. A rod for use in a preform for a microstructured fibre, said rod having an outer surface in a longitudinal direction along the axis of said rod and a cross section perpendicular thereto, and said rod having a number of grooves arranged at pre-determined positions in the outer surface and extending in the longitudinal direction of  
15 the rod.

24. A rod according to claim 23, wherein the number of grooves are at least 2, such at least 3 or such at least 4.

20 25. A rod according to claim 23 or 24, wherein the number of grooves are at least 6 or at least 8.

26. A rod according to any of the claims 23-25, wherein the number of grooves are at least 12, such at least 18, such at least 24, such at least 30, such at least 50 or such  
25 at least 100.

27. A rod according to any of the claims 23-26, wherein the grooves extend over a majority of the length of the rod.

30 28. A rod according to any of the claims 23-27, wherein all or at least a plurality of said grooves are arranged substantially parallel to each other.

29. A rod according to any of the claims 23-28, wherein each of said grooves are arranged as helical grooves along the outer surface.

30. A rod according to any of the claims 23-29, wherein all or least a plurality of the grooves extend the entire length of the rod.

5. 31. A rod according to any of the claims 23-30, wherein all or at least a plurality of the grooves extend only a limited part of the length of the rod.

32. A rod according to any of the claims 23-31, wherein the grooves in the cross section are placed substantially equidistant to each other.

10

33. A rod according to claim 32, wherein the grooves are placed in a substantially circularly symmetric manner with respect to the axis of the rod.

34. A rod according to any of the claims 23-33, wherein the grooves slits have  
15 dimensions in the cross section in a range from 0.5mm to 50mm, such as from 0.5mm to 5.0mm, such as from 5.0mm to 20mm, such as from 20mm to 50mm.

35. A rod according to any of the claims 23-34, wherein a plurality of the grooves have a length of at least 5cm, such as at least 10cm, such as at least 50cm, such as  
20 at least 100cm, such as at least 150cm.

36. A rod according to any of the claims 23-35, wherein the rod consists of a silica-based glass material.

25 37. A rod according to any of the claims 23-36, wherein the rod is fabricated using sol-gel techniques.

38. A rod according to claim 36 or 37, wherein the rod has a predetermined refractive index profile being realized using doping techniques.

30

39. A rod according to any of the claims 23-38, wherein said grooves are made using a laser ablation technique or a laser assisted etching technique.

40. A rod according to claim 36 and 39, wherein the rod is heated to a temperature around or above 800 °C during at least part of said laser ablation or laser etching.
41. A rod according to claim 39 or 40, wherein the grooves are formed using a laser beam being incident on the rod or parts thereof from a direction substantially perpendicular to the longitudinal direction of the rod.
42. A rod according to any of the claims 39-41, wherein the laser is a pulsed or CW laser, such as a frequency doubled YAG laser, or a CO2 laser.
43. A rod according to any of the claims 23-36, wherein said grooves are formed directly in the rod during fabrication of the rod using a mould with a predetermined shape.
44. A rod according to any of the claims 23-36, wherein said grooves are made using a mechanical milling or drilling technique.
45. A method of fabricating a preform for a microstructured fibre or a part for a preform for a microstructured fibre, said preform or part having a length in a longitudinal direction and a cross section perpendicular thereto, said preform or part comprising elongated channels that are arranged at pre-determined positions and extending in the longitudinal direction of the preform or part, wherein said channels are manufactured using a laser ablation technique or a laser etching technique.
46. A method according to claim 45, wherein a plurality of the channels are substantially parallel.
47. A method according to claim 45 or 46, wherein each or at least parts of said channels is arranged as helical channels in the longitudinal direction of the preform.
48. A method according to any of the claims 45-47, wherein the channels are formed using a laser beam being incident on the preform or parts thereof from a direction substantially perpendicular to the longitudinal direction.

49. A method according to claim 45 or 46, wherein the channels are formed using a laser beam being incident on the preform or parts thereof from a direction substantially parallel to the longitudinal direction.

5 50. A method according to any of the claims 45-49, wherein the laser is a pulsed or CW laser, such as a frequency doubled YAG laser, or a CO2 laser.

51. A preform or part made using any of the methods of claim 45-50, wherein a plurality of the channels have a length of at least 5cm, such as at least 10cm, such as  
10 at least 50cm, such as at least 100cm, such as at least 150cm.

52. A preform or part according to any of the claims 45-51, wherein elongated channels are formed in a single rod.

15 53. A preform or part according to any of the claims 45-52, wherein elongated channels are formed in one or more tubes.

54. A preform or part according to claim 52 or 53, wherein at least 6 channels, such as at least 8 channels, such as at least 12 channels, such as at least 18 channels,  
20 such as at least 24 channels, such as at least 30 channels, such as at least 50 channels or such as at least 100 channels are formed in the rod and/or in one or more tubes.

55. A preform or part according to any of the claims 45-54, wherein the elongated  
25 channels extend over a majority of the preform length.

56. A preform or part according to claim any of the claims 52-55, wherein the single rod consists of a silica-based glass material.

30 57. A preform or part according to claim 56, wherein the single rod has a special refractive index profile being realized using doping techniques.



58. A preform or part according to any of the claims 45-57, wherein the preform or part is heated to a temperature around or above 800 °C during at least part of said laser ablation or laser etching.

5 59. A preform or part according to any of the claims 45-58, wherein the preform or part is fabricated using sol-gel techniques.

60. A preform for a microstructured fibre or a part for a preform for a microstructured fibre, said preform or part having a length in a longitudinal direction and a cross

10 section perpendicular thereto, said preform or part comprising:

at least 2 concentric tubes having different inner as well as outer diameters

at least one of said at least two concentric tubes having grooves and/or slits

15 extending in said longitudinal direction.

61. A preform for a microstructured fibre or a part for a preform for a microstructured fibre, said preform or part having a length in a longitudinal direction and a cross

section perpendicular thereto, said preform or part comprising: a rod being arranged at

20 the centre of the preform or part, one or more tubes being concentric to said rod, said rod being sleeved inside a first of said one or more concentric tubes, wherein said rod and/or at least one of said concentric tubes has grooves and/or slits extending in said longitudinal direction.

25 62. A preform or part or part according to claim 61, said preform or part comprising at least two tubes being concentric to the rod.

63. A preform or part according to any of the claims 60-62, wherein the number of innermost longitudinally extending grooves and/or slits with respect to a centre of the

30 preform or part are at least 2, such as at least 3 or such as at least 4.

64. A preform or part according to any of the claims 60-63, wherein the number of innermost longitudinally extending grooves and/or slits with respect to a centre of the preform or part are at least 6 or at least 8.

65. A preform or part according to any of the claims 60-64, wherein the number of innermost longitudinally extending grooves and/or slits with respect to a centre of the preform or part are at least 12, such as at least 18, such as at least 24, such as at least 30, such as at least 50 or such as at least 100.

66. A preform or part according to any of the claims 60-65, wherein for the rod or at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits are at least 2, such as at least 3 or such as at least 4.

10

67. A preform or part according to any of the claims 60-66, wherein for the rod or at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits are at least 6 or at least 8.

15 68. A preform or part according to any of the claims 60-67, wherein for the rod or at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits are at least 12, such as at least 18, such as at least 24, such as at least 30, such as at least 50 or such as at least 100.

20 69. A preform or part according to any of the claims 61-68, wherein for the rod and at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits are at least 2, such as at least 3 or such as at least 4.

70. A preform or part according to any of the claims 61-69, wherein for the rod and at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits are at least 6 or at least 8.

71. A preform or part according to any of the claims 61-70, wherein for the rod and at least one concentric tube, the number of grooves and/or slits are at least 12, such as at least 18, such as at least 24, such as at least 30, such as at least 50 or such as at least 100.

72. A preform or part according to any of the claims 60-71, wherein the preform or part comprises at least two concentric tubes having grooves and/or slits, where for

each of the two tubes the number of grooves and/or slits are at least 2, such as at least 3 or such as at least 4.

73. A preform or part according to any of the claims 60-72, wherein the preform or  
5 part comprises at least two concentric tubes having grooves and/or slits, where for each of the two tubes the number of grooves and/or slits are at least 6 or at least 8.

74. A preform or part according to any of the claims 60-73, wherein the preform or  
part comprises at least two concentric tubes having grooves and/or slits, where for  
10 each of the two tubes the number of grooves and/or slits are at least 12, such as at least 18, such as at least 24, such as at least 30, such as at least 50 or such as at least 100.

75. A preform or part according to any of claims 60-74, wherein the grooves and/or  
15 slits are arranged so as to substantially form channels in said preform or part.

76. A preform or part according to any of the claims 60-75, wherein for a tube or rod  
having grooves and/or slits, each or at least part of said grooves and/or slits are  
arranged on an outer surface of the tube or rod.

20

77. A preform or part according to any of the claims 60-76, wherein all or at least a  
plurality of said grooves and/or slits are arranged substantially parallel to each other  
and extending in the longitudinal direction of the tube or rod.

25 78. A preform or part according to any of the claims 60-75 or 77, wherein for a tube  
having grooves and/or slits, each or at least part of said grooves and/or slits are  
arranged along an inner surface of said tube.

79. A preform or part according to claim 78, wherein each of said grooves and/or slits  
30 are arranged as helical grooves and/or slits along the inner surface of said tube.

80. A preform or part according to claim 76 or 77, wherein each of said grooves  
and/or slits is arranged as helical grooves and/or slits along the outer surface.

81. A preform or part according to any of the claims 76, 77 or 80, wherein said grooves and/or slits are arranged at predetermined positions along the outer surface of the tube or rod.

- 5 82. A preform or part according to any of the claims 60-81, wherein one concentric tube having grooves and/or slits is sleeved inside another concentric tube in a substantially close-packed manner in order for the grooves and/or slits to form channels being substantially sealed off in the longitudinal direction and thereby being substantially isolated from each other.

10

83. A preform or part according to claim 82, comprising at least 3, such as at least 4, such as at least 5, such as at least 8, such as at least 10 concentric tubes being sleeved inside each other in a substantially close-packed manner in order for the grooves and/or slits to form channels being substantially sealed off in the longitudinal  
15 direction and thereby being substantially isolated from each other.

84. A preform or part according to any of the claims 60-83, wherein a concentric tube having grooves and/or slits is sleeved inside a concentric tube having no slits or having no slits and no grooves.

20

85. A preform or part according to any of the claims 60-83, wherein a concentric tube having grooves is sleeved inside a concentric tube having grooves.

86. A preform or part according to any of the claims 61-83, wherein the rod  
25 comprises parallel grooves in the longitudinal direction, said parallel grooves being formed on the outer surface of the rod.

87. A preform or part according to claim 86, wherein the parallel grooves in the rod are placed substantially equidistant to each other in a substantially circular symmetric  
30 pattern.

88. A preform or part according to any of the claims 61-68 or 72-87, wherein the rod has no grooves extending in the longitudinal direction.

89. A preform or part according to any of the claims 61-88, wherein the rod is sleeved inside the first concentric tube, said first concentric tube having no grooves and/or slits.

5 90. A preform or part according to any of the claims 61-88, wherein the rod is sleeved inside the first concentric tube, said first concentric tube having grooves and/or slits.

91. A preform or part according to any of the claims 60-90, wherein the preform or  
10 part comprises at least 2 concentric tubes having grooves and or slits extending in said longitudinal direction.

92. A preform or part according to any of the claims 60-91, wherein the preform or  
15 part comprises at least 3 concentric tubes having grooves and or slits extending in said longitudinal direction.

93. A preform or part according to any of the claims 60-92, wherein the preform or  
part comprises at least 4 concentric tubes having grooves and or slits extending in  
said longitudinal direction.

20

94. A preform or part according to any of the claims 60-93, wherein the preform or  
part comprises an outer concentric tube having no grooves or slits.

95. A preform or part according to any of the claims 60-94, wherein a plurality of the  
25 grooves extend the entire length of the preform or part.

96. A preform or part according to any of the claims 60-94, wherein a plurality of the  
grooves and/or slits extend only a limited part of the length of the preform or part.

30 97. A preform or part according to any of the claims 60-96, wherein for each tube having grooves and/or slits, the grooves and/or slits in the cross section are placed substantially equidistant to each other in a substantially circularly symmetric manner with respect to a centre of said each tube.

98. A preform or part according to any of the claims 60-97, wherein the preform or part comprises at least two concentric tubes having the same refractive index.

99. A preform or part according to any of the claims 61-98, wherein the rod and the  
5 first concentric tube have the same refractive index.

100. A preform or part according to any of the claims 60-99, wherein the inner part or bottom part of the innermost longitudinally extending grooves and/or slits with respect to the centre of the preform or part are arranged at a distance greater than or equal to  
10 0.5 times the total radius of the preform taken from the centre to the outer surface of the preform.

101. A preform or part according to any of the claims 61-100, wherein the rod has a predetermined refractive index profile with a high index centre region, and wherein the  
15 inner part or bottom part of the innermost longitudinally extending grooves and/or slits with respect to the centre of the preform or part are arranged at a distance greater than or equal to 3 times the radius of said high index centre region.

102. A preform or part according to claim 101, wherein the index profile of the rod  
20 furthermore comprises a low index outer region surrounding said high index centre region.

103. A preform or part according to claim 101 or 102, wherein the index profile of the rod is provided by use of doping techniques.

25

104. A preform or part according to any of the claims 100-103, wherein the innermost longitudinally extending grooves and/or slits are arranged in the rod.

105. A preform or part according to any of the claims 100-103, wherein the  
30 innermost longitudinally extending grooves and/or slits are arranged in a tube.

106. A preform or part according to any of the claims 60-105, wherein at least part of the grooves and/or slits have dimensions in the cross section in a range from 0.5mm

to 50mm, such as from 0.5mm to 5.0mm, such as from 5.0mm to 20mm, such as from 20mm to 50mm.

107. A preform or part according to any of the claims 60-106, wherein the preform or  
5 part includes a first region of a first type of tube of a first material and a second region of a second type of tube of a second material, said first material and second material having different softening temperatures.

108. A preform or part according to any of the claims 60-107, wherein the preform or  
10 part or parts thereof are fabricated using any of the methods of claims 45-50.

109. A method of fabricating microstructured fibres consisting of the steps:  
- providing a preform according to any of the claims 60-108,  
- drawing said preform into a fibre using one or more steps including drawing of  
15 said preform into a cane at an intermediate drawing stage.

110. A method according to claim 109, wherein a pressure inside each tube is controlled during the step involving drawing of the preform into a fibre and/or a cane.

20 111. A preform for manufacturing a microstructured fibre, the preform having a length in a longitudinal direction and a cross section perpendicular thereto, said preform comprising:  
a single capillary tube in a centre of said preform with an inner cross-sectional dimension, dinner,tube, and an outer cross-sectional dimension douter,tube;  
25 a multitude of solid rods surrounding said capillary tube, a plurality of said multitude of solid rods having an outer cross-sectional diameter, douter,rod; and  
a first overcladding tube surrounding said single capillary tube and said multitude of solid rods

30 112. A preform according to claim 111, wherein at least part of the multitude of solid rods are close-packed in order to form a periodic arrangements of interstitial voids.

113. A preform according to claim 111 or 112, wherein douter,rod is substantially equal to douter,tube

114. A preform according to any of the claims 111-113, wherein dinner,tube is in the range of 0.1 times douter,tube to 0.6 times douter,tube, such as around 0.3 times douter,tube.

5

115. A preform according to any of the claims 111-114, wherein dinner,tube, douter,tube, and douter,rod are in the range from 0.5mm to 20mm, such as between 1.0mm to 3.0mm.

10 116. A preform according to any of the claims 111-115, wherein the preform includes a first region of a first type of rods of a first material and a second region of a second type of rods of a second material, said first material and second material having different softening temperatures.

15 117. A method of fabricating microstructured fibres comprising the steps:  
providing a preform according to any of the claims 111-116;  
drawing said preform into a cane; and  
sealing said cane in one end and drawing said cane into fibre from an opposite end; or  
providing an active control of a pressure inside said cane from one end and drawing  
20 said cane into fibre from an opposite end.

118. A method according to claim 117, wherein the preform is drawn into a cane using a lower-than-atmospheric pressure inside the first overcladding tube of the preform in order to fix the multitude of solid rods in a close-packed manner while  
25 keeping open interstitial voids between adjacent solid rods, said interstitial voids being substantially periodically distributed in a honeycomb structure.

119. A method according to claim 118, wherein the pressure inside the single capillary tube is controlled during drawing of preform to cane.

30

120. A method according to claim 118 or 119, wherein the cane is placed in a second overcladding tube to yield a second preform and a pressure inside said second overcladding tube is controlled during drawing of said second preform into fibre in order to control the dimension and/or shape of the interstitial voids in the fibre.



121. An optical fibre having a longitudinal direction, said optical fibre having a length in the longitudinal direction and a cross section perpendicular thereto, wherein said fibre in the cross section comprises: a first region being microstructured and having a first background material of softening temperature T, and a second region comprising a second material, said first background material having a viscosity higher than said second material at temperature T, such as said first background material having a viscosity of at least two times higher than said second material at the softening temperature T, such as ten times higher, such as at least a hundred times higher.
122. An optical fibre according to claim 121 or an optical fibre drawn from a preform according to claim 111 or 116, wherein the first region has a substantially circular, ring-like shape, said first region being positioned substantially symmetrically around a centre of the optical fibre.
123. An optical fibre according to claim 121 or 122, wherein the second material is a glass softer than pure silica such as silica doped with fluorine, phosphorous, chlorine, and/or germanium.
124. An optical fibre splice comprising at least one end of an optical fibre according to claim 122 or 123.
125. A long length of optical fibre comprising a first short length of an optical fibre according to claim 122 or 123 and a second short length of an optical fibre.
126. A long fibre length according to claim 125, wherein the second short length of the optical fibre is a length of a conventional, single mode fibre or of an optical fibre having a microstructured region.
127. A long length of optical fibre comprising a first short length of an optical fibre according to claim 122 or 123, and a second short length of an optical fibre, and a third short length of a third optical fibre, said first short length of an optical fibre serving as an intermediate fibre length between said second short length and said

third short length in order to provide low propagation loss for light travelling from said second to the third short length of optical fibre and vice versa.

128. A long length of fibre according to claim 127, wherein the third optical fibre is an  
5 optical fibre comprising a microstructured region.

129. A preform or an optical fibre comprising a microstructured region according to any of the claims 51-59, 60-102 or 111-116, wherein the preform or the optical fibre in the cross section has a periodic structure.

10

130. A preform or an optical fibre comprising a microstructured region according to claim 129, where the periodic structure has a hexagonal symmetry.

131. A preform or an optical fibre comprising a microstructured region according to  
15 any of the claims 51-59, 60-102 or 111-116, wherein the preform or the optical fibre in the cross section has a non-periodic structure.

132. An optical fibre made using any of the methods of claim 109-110 or 117-120, or an optical fibre according to any of the claims 121-123 having in the cross section  
20 microstructured features, that are isolated from each other, a plurality of said microstructured features having a centre-to-centre distance to a nearest neighbouring microstructured feature in the range from 0.5mm to 20mm, such as from 0.5mm to 2.0mm, such as from 2.0mm to 10mm, such as from 10mm to 20mm.

25 133. An optical fibre according to claim 99 that guide light in a single mode of propagation at a predetermined wavelength in the range from 0.3 $\mu$ m to 1.8 $\mu$ m.

134. A preform or an optical fibre according to any of claim 129-133, wherein the preform or optical fibre comprises silica-based materials.

30

135. A preform or an optical fibre according to claim 134, wherein the preform or optical fibre comprises polymer-based materials.

136. A preform or an optical fibre according to any of the claims 129-135 having an outer shape in the cross section being non-circular, such as an elliptical shape.

137. A preform or an optical fibre according to claim 136, wherein the outer shape  
5 has a predetermined orientation that is determined with respect to an orientation of a structure in the cross section, said structure surrounding a core of said preform or optical fibre.

138. A long length of optical fibre, said long length having a longitudinal direction and  
10 a cross section perpendicular thereto, said long length of optical fibre comprises:  
a first short length of a first optical fibre;  
a second short length of second optical fibre;  
a third short length of a third optical fibre;  
said first optical fibre comprising a microstructure, said third optical fibre being a  
15 conventional optical fibre, said second optical fibre serving as an intermediate fibre between said first optical fibre and said third optical fibre in order to provide low propagation loss for light travelling from said first optical fibre to said third optical fibre and/or vice versa.

20 139. A long fibre length according to claim 138, wherein the second optical fibre comprises a first region of a first material and a second region of a second material, said first material having a softening temperature  $T_1$  and said second material having a softening temperature  $T_2$  being higher than  $T_1$ .

25 140. A long fibre length according to claim 138 or 139, wherein the first optical fibre comprises a material constituting a background material in a microstructured volume of the first optical fibre.

141. A long fibre length according to claim 139 or 140, wherein the second optical  
30 fibre in the cross section has the second material positioned substantially in a circular, ring-shaped region, substantially symmetric around a core of the second optical fibre.

142. A long length fibre according to claim 141, wherein the second material has a lower softening temperature than said background material.

143. A long length of fibre according to any of the claims 140-142, wherein the second optical fibre comprises a tapered core region in order to provide mode matching at both ends of the second optical fibre and thereby provide low propagation  
5 loss for light travelling from said second to third short length of optical fibre and vice versa.

144. A long length of fibre according to any of the claims 138-143, wherein the first optical fibre is an optical fibre a according to any of the claims 132-137.

10

1/21

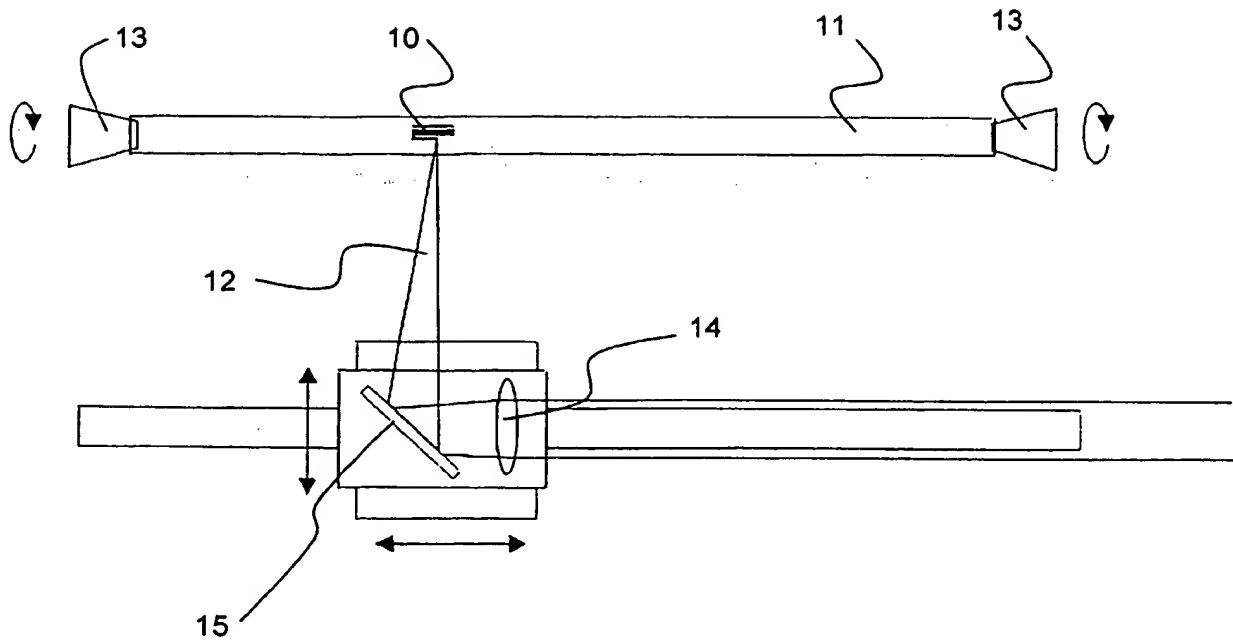


Fig. 1

2/21

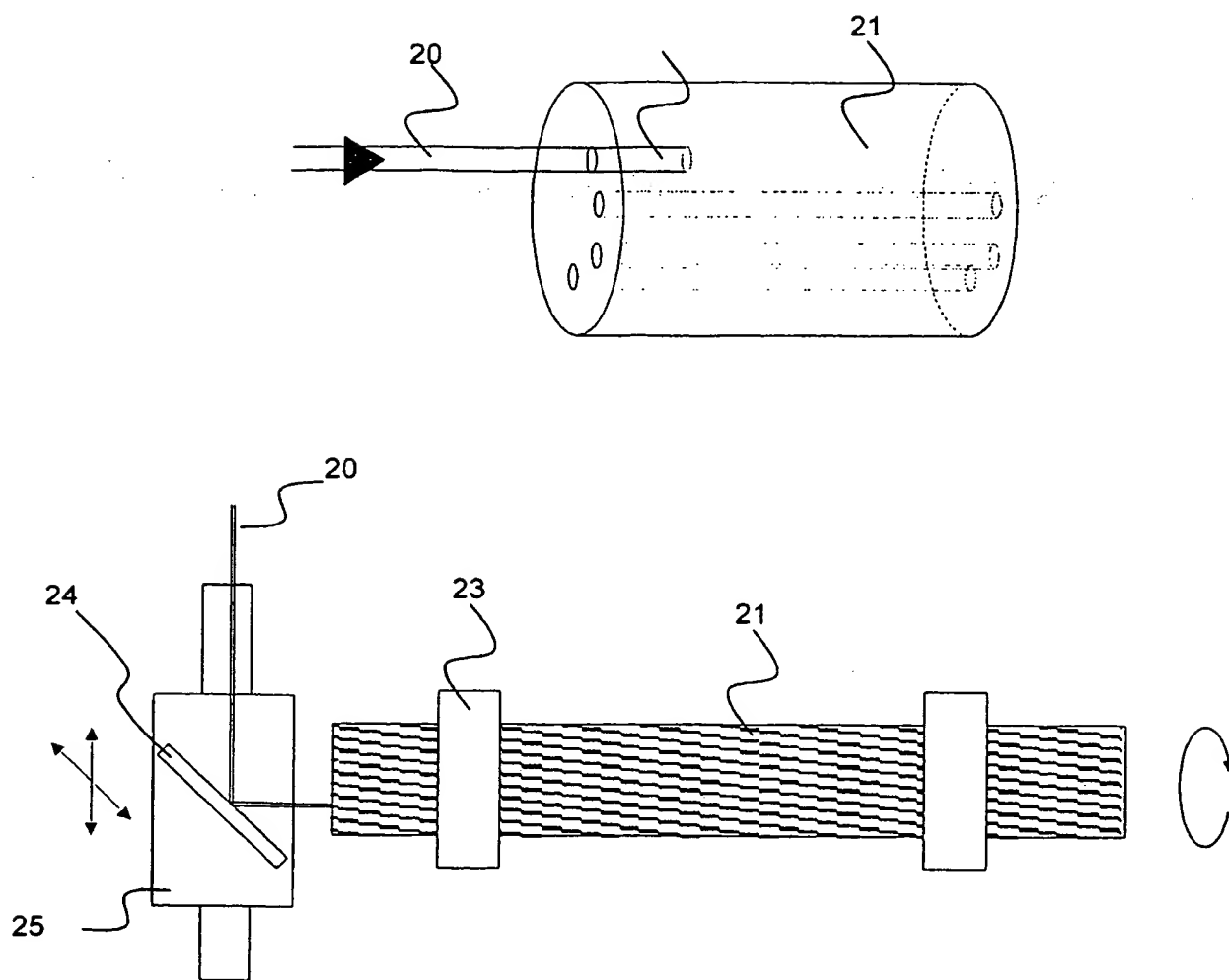


Fig. 2

3/21

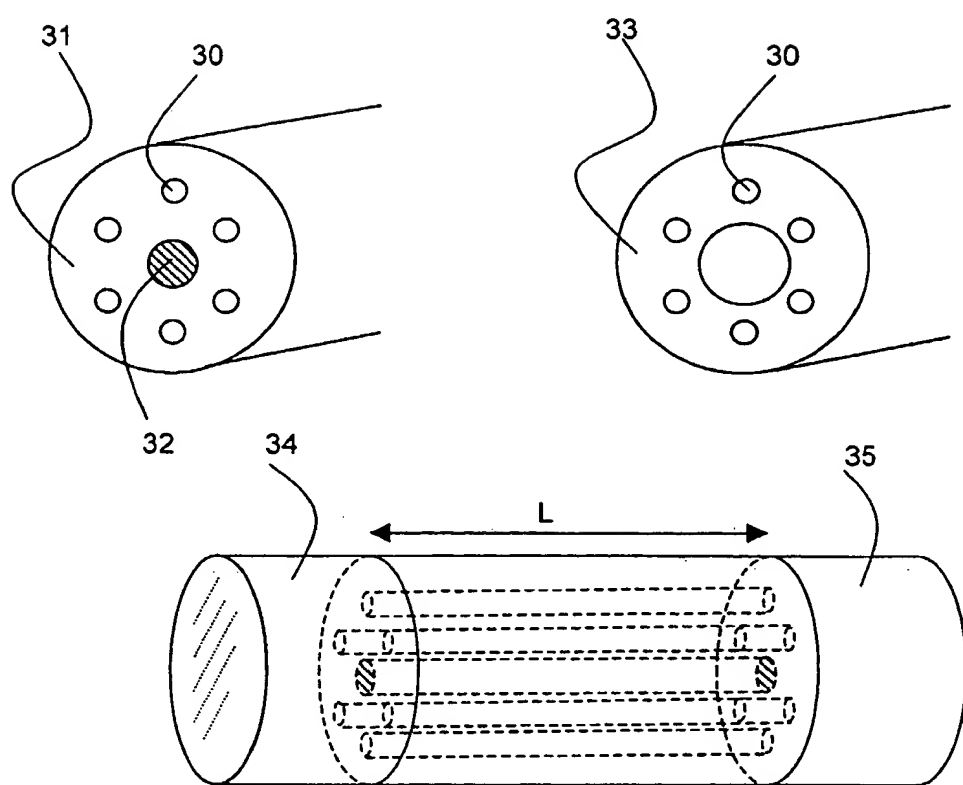


Fig. 3

4/21

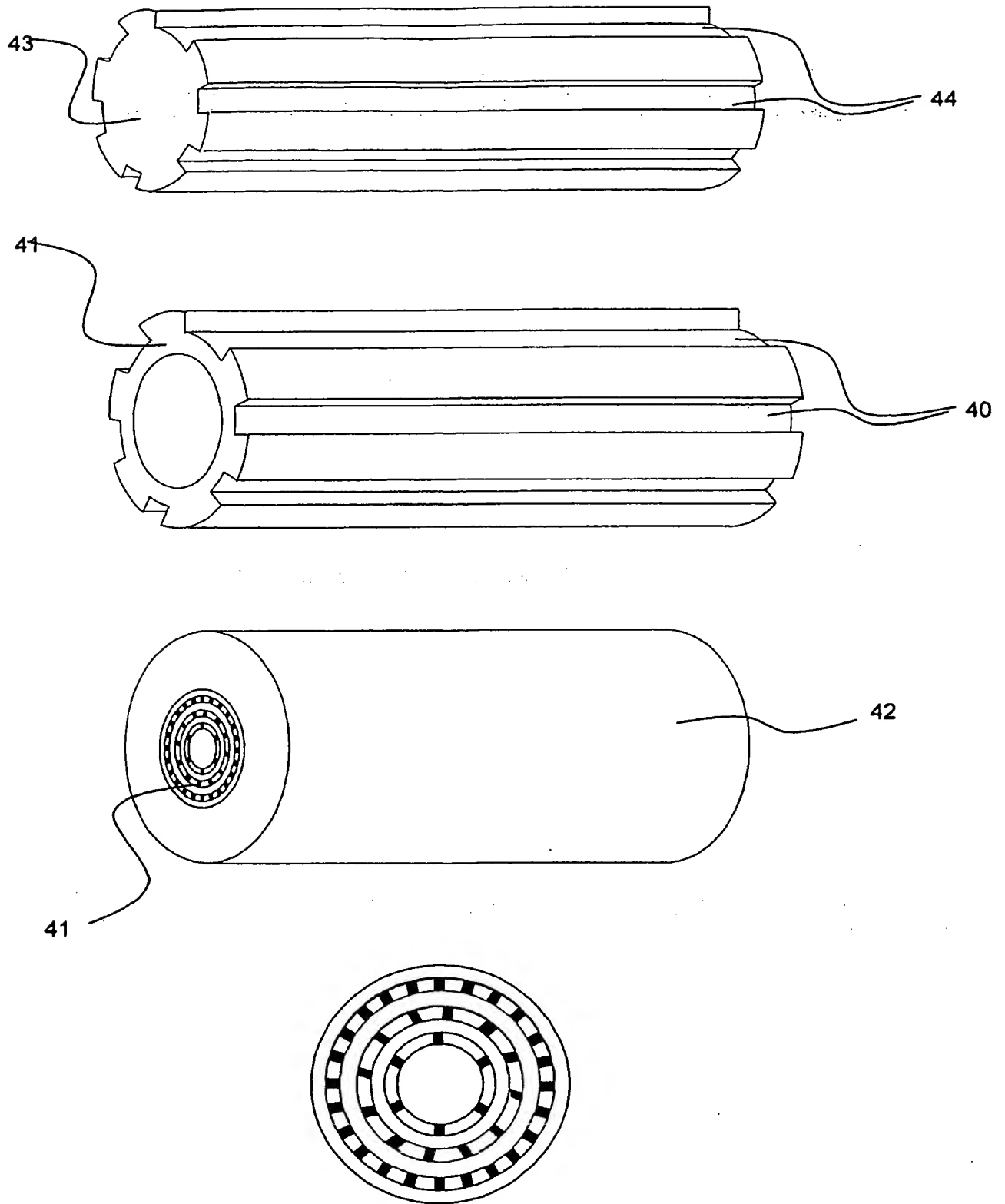


Fig. 4



5/21

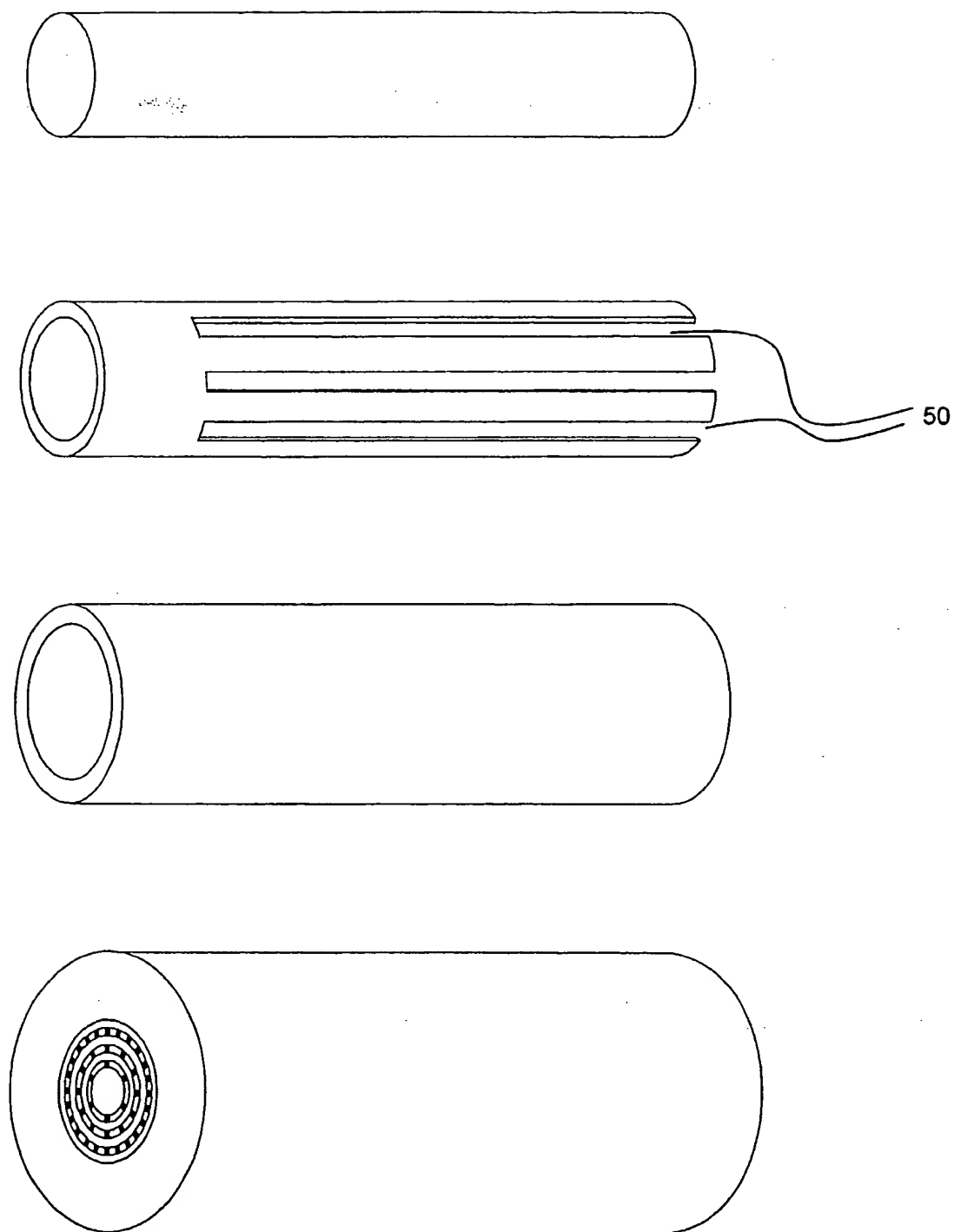


Fig. 5

6/21

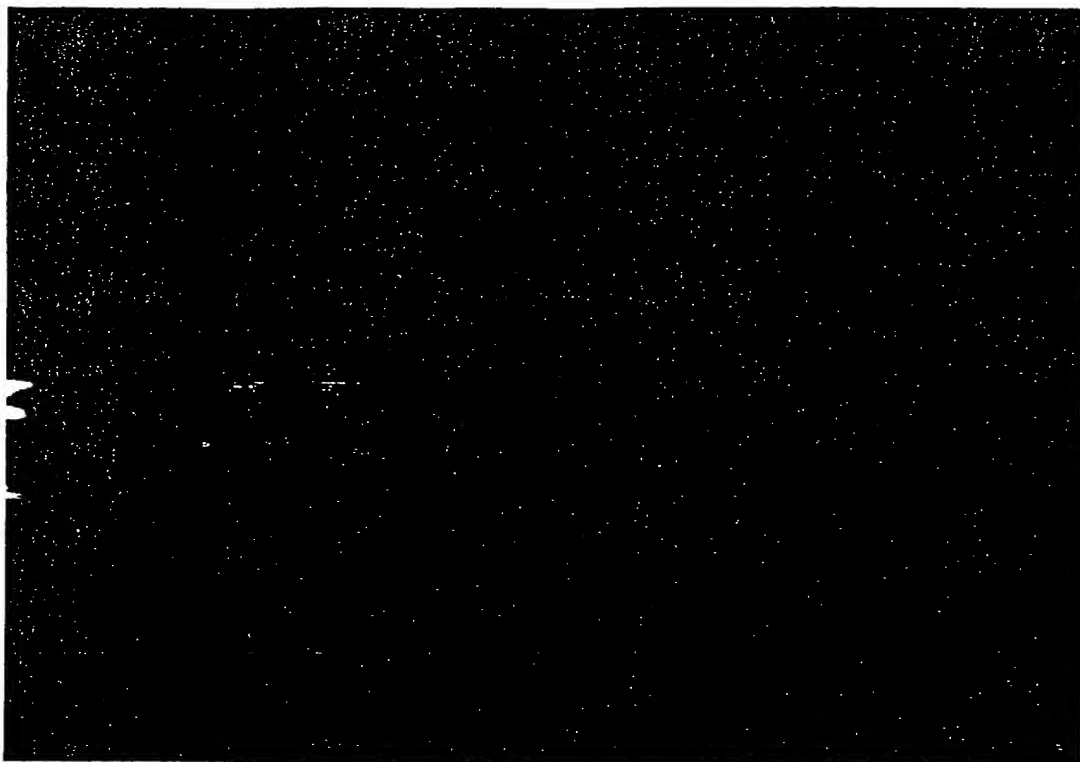


Fig. 6

7/21

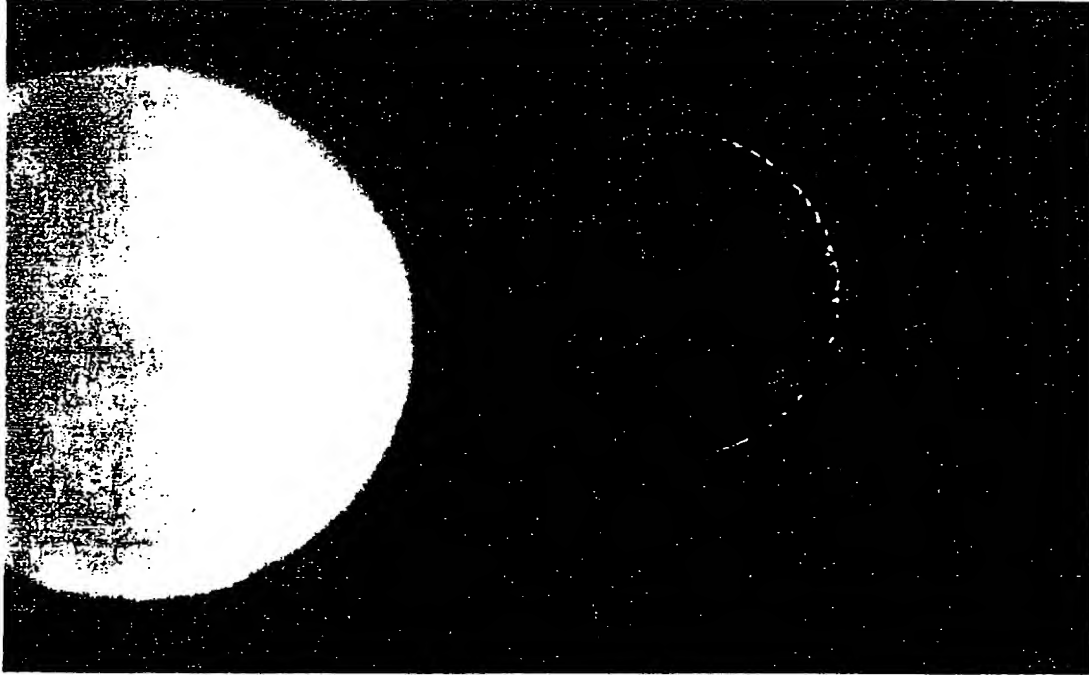


Fig. 7

8/21

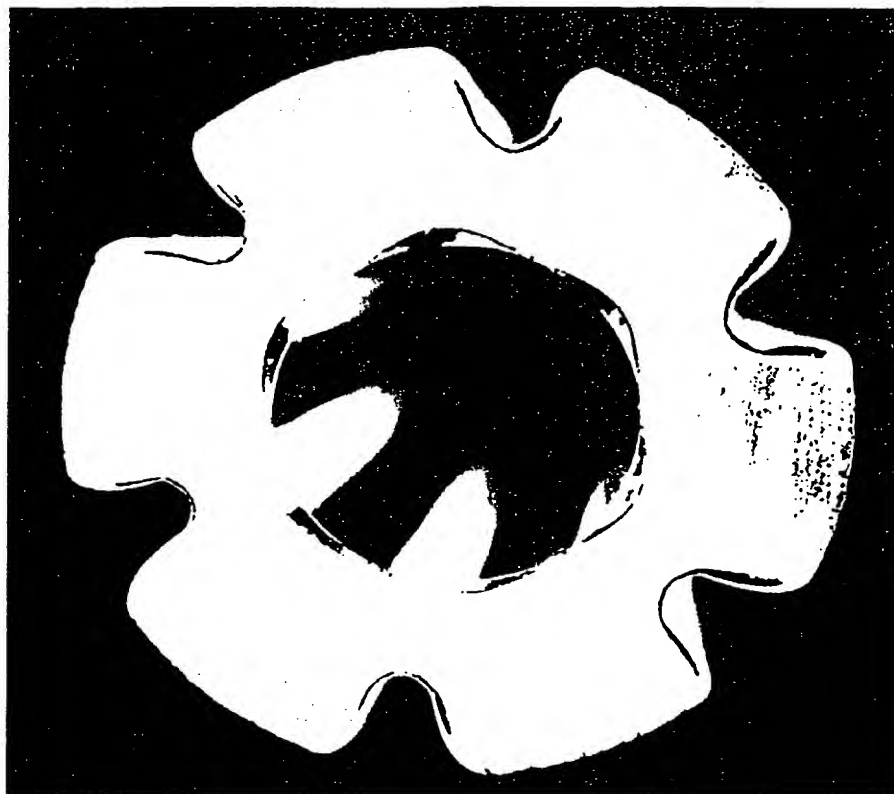


Fig. 8

9/21



Fig. 9

10/21

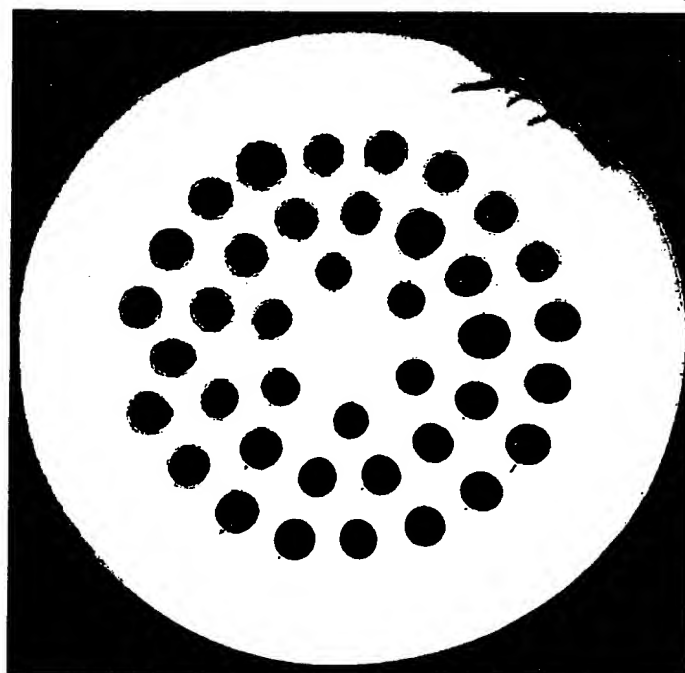
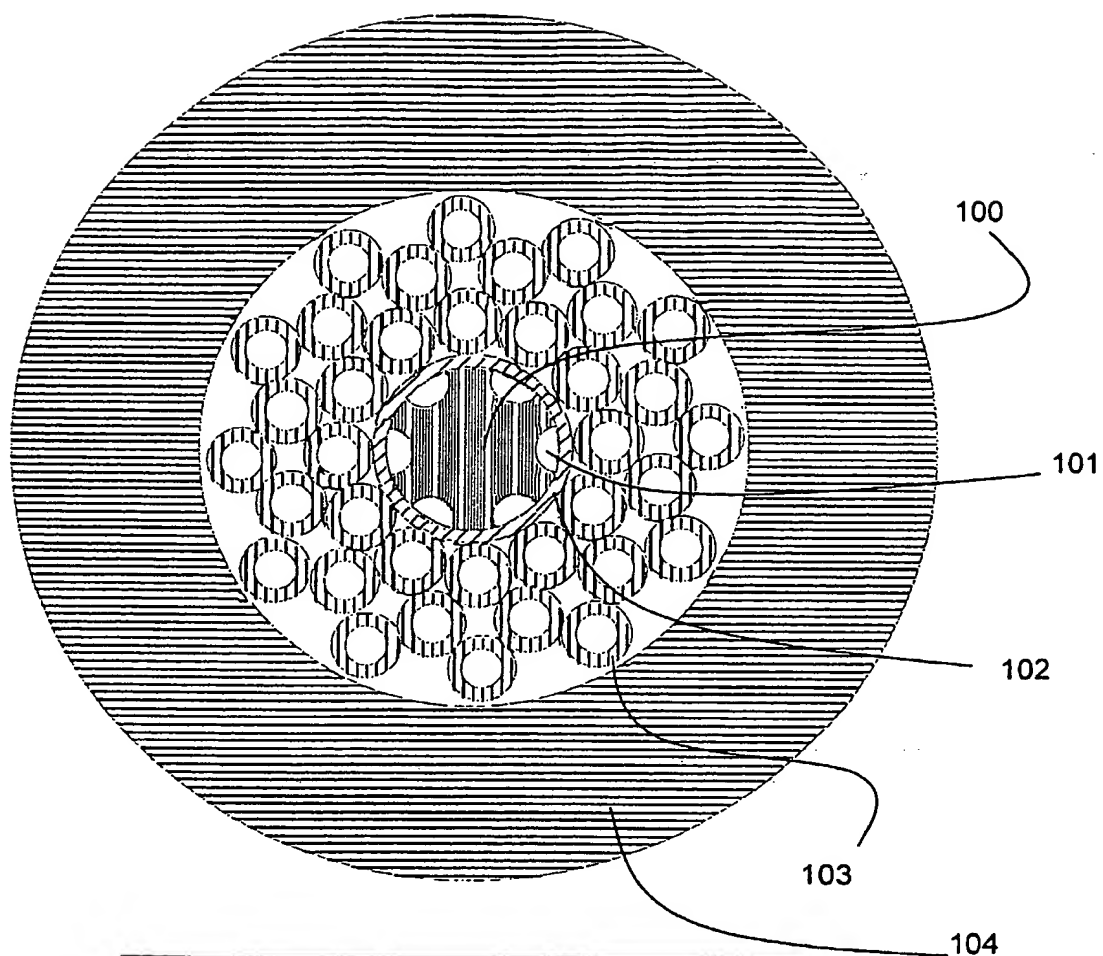


Fig. 10

11/21

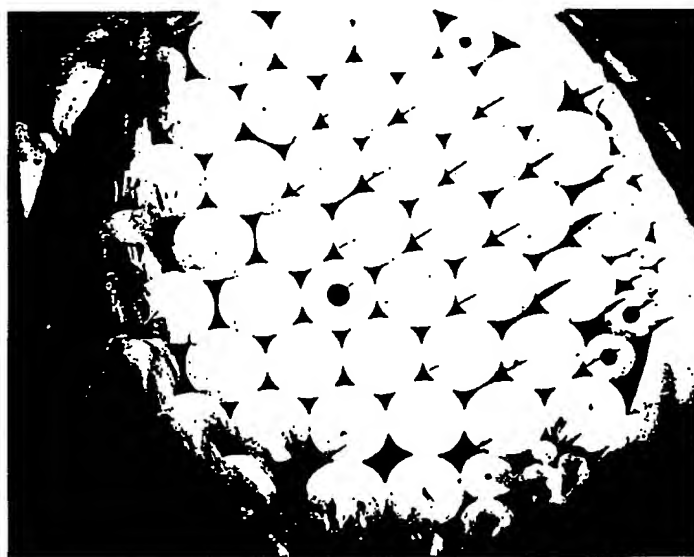
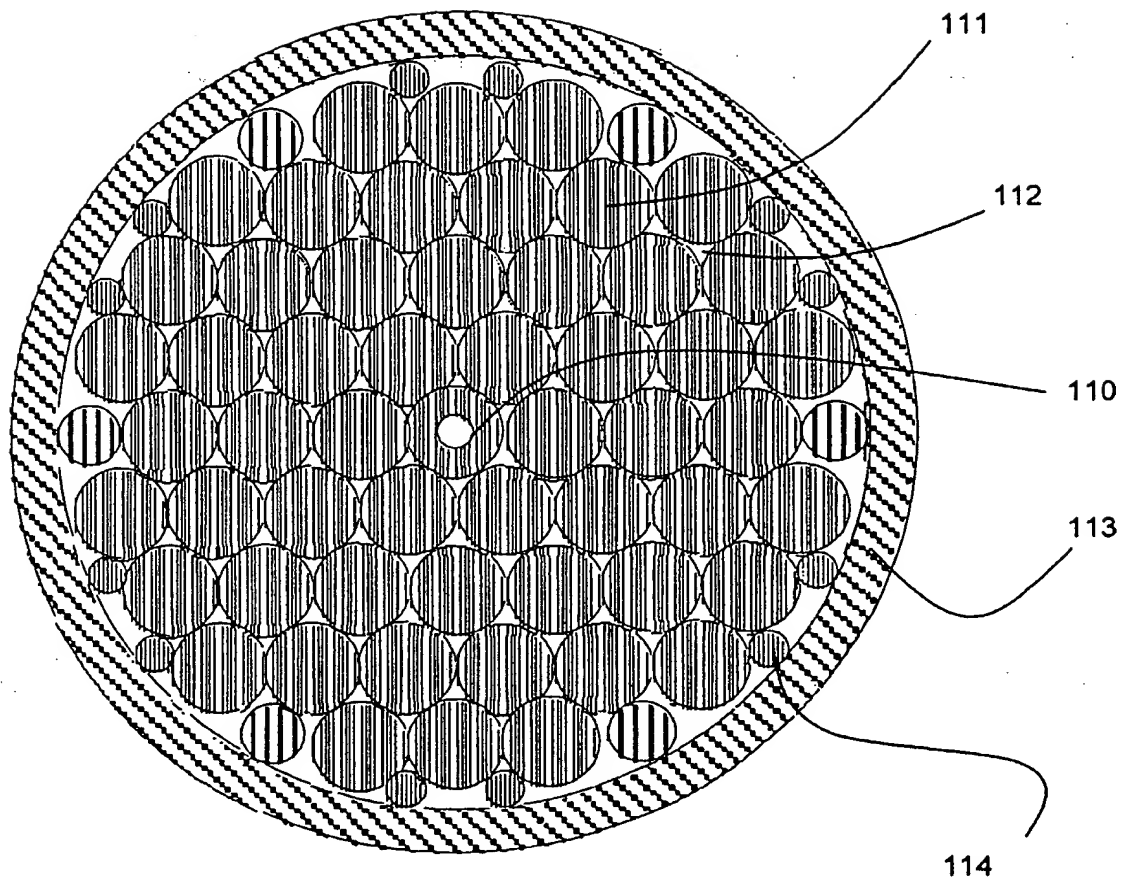


Fig. 11

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

12/21

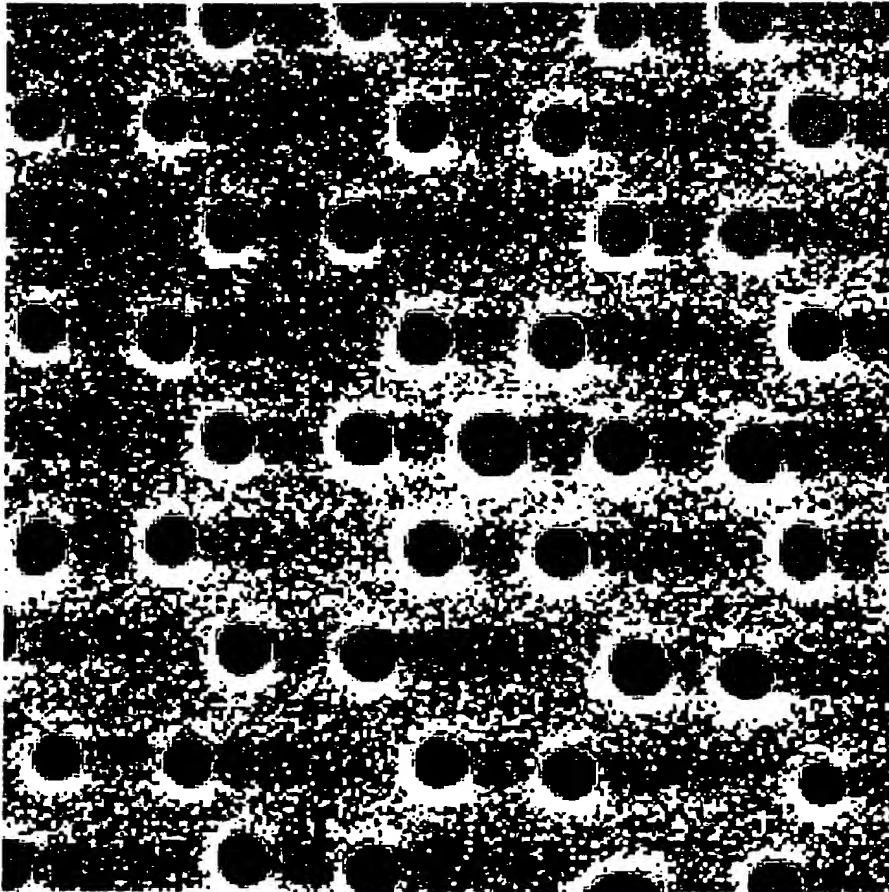


Fig. 12



13/21

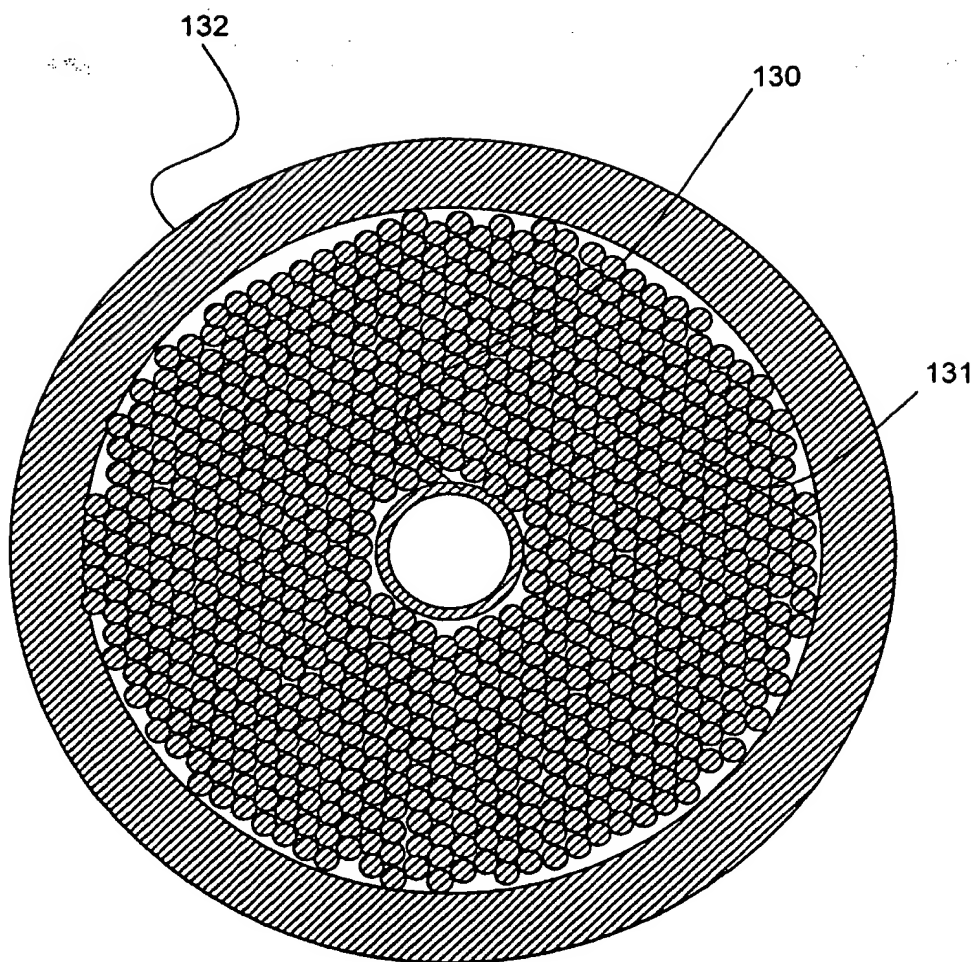


Fig. 13

14/21

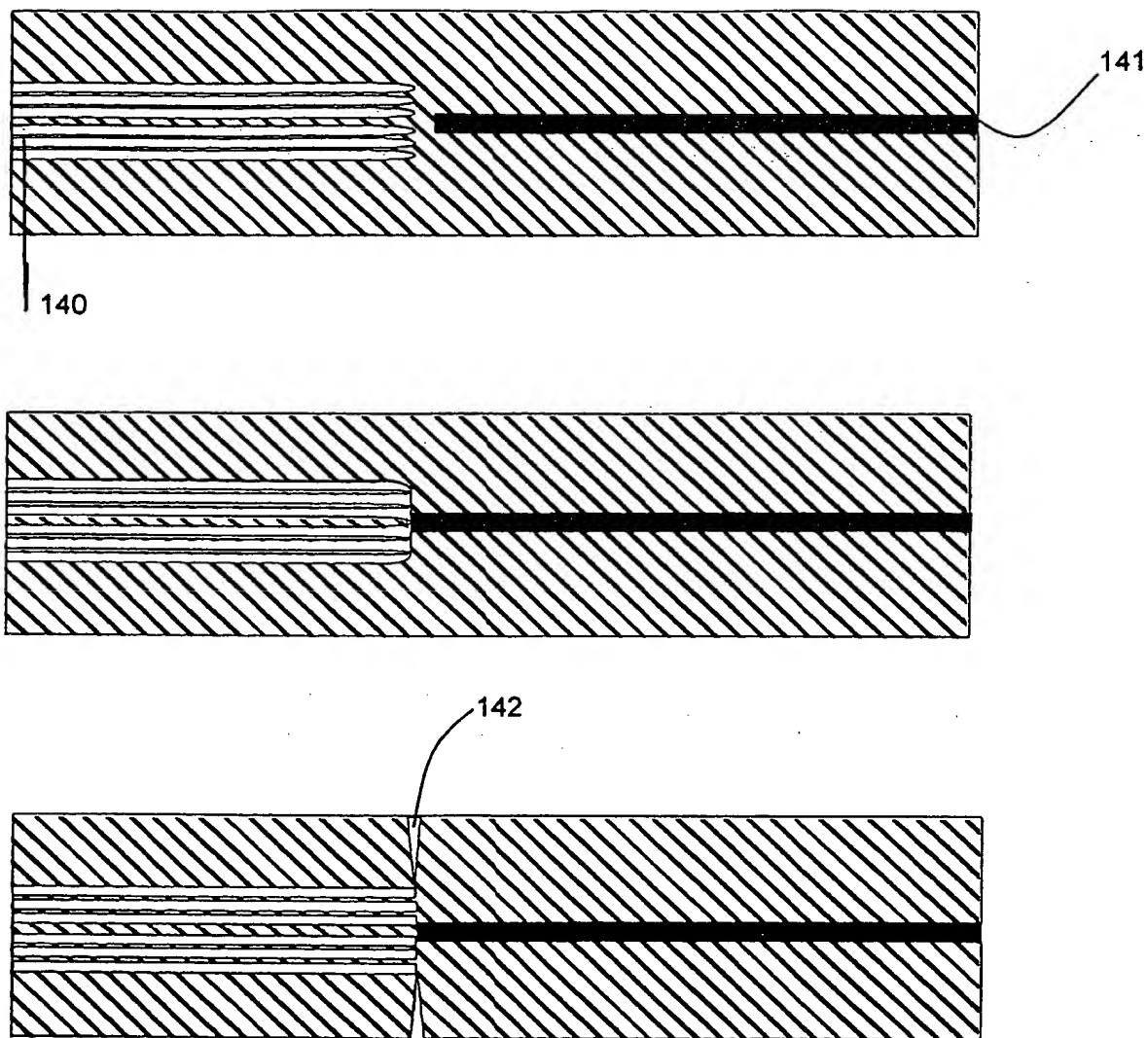


Fig. 14

15/21

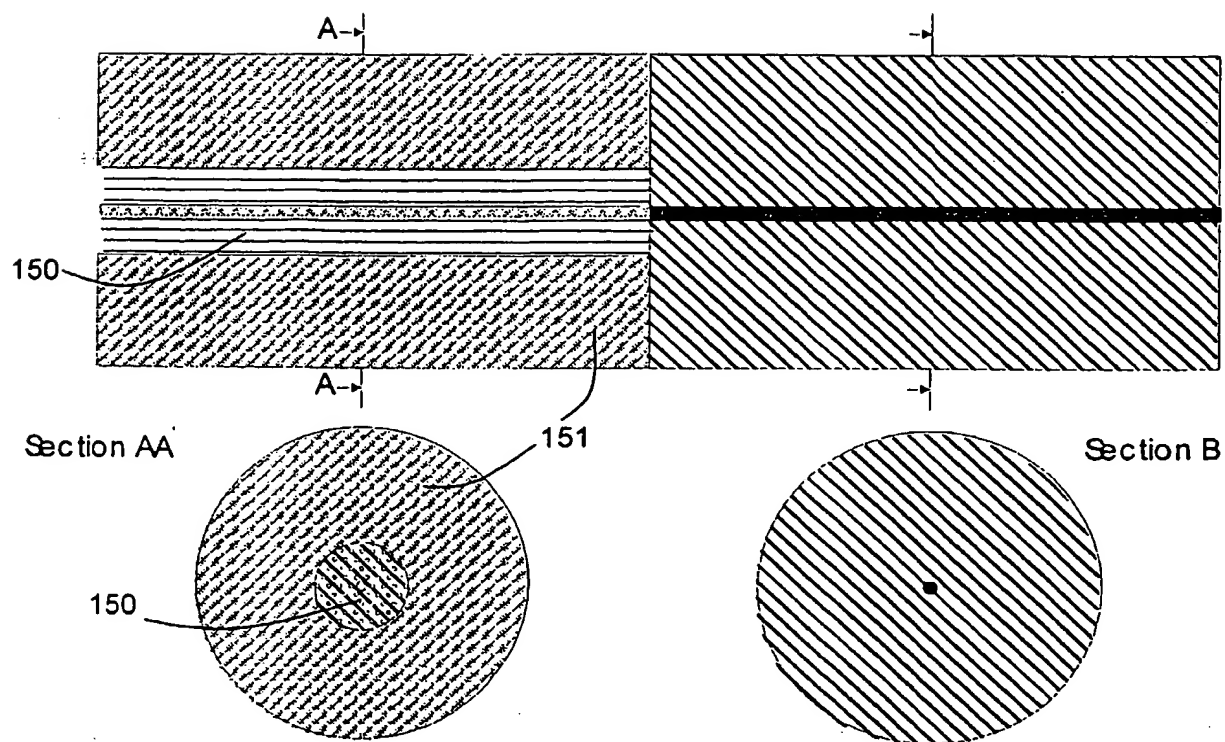


Fig. 15

16/21

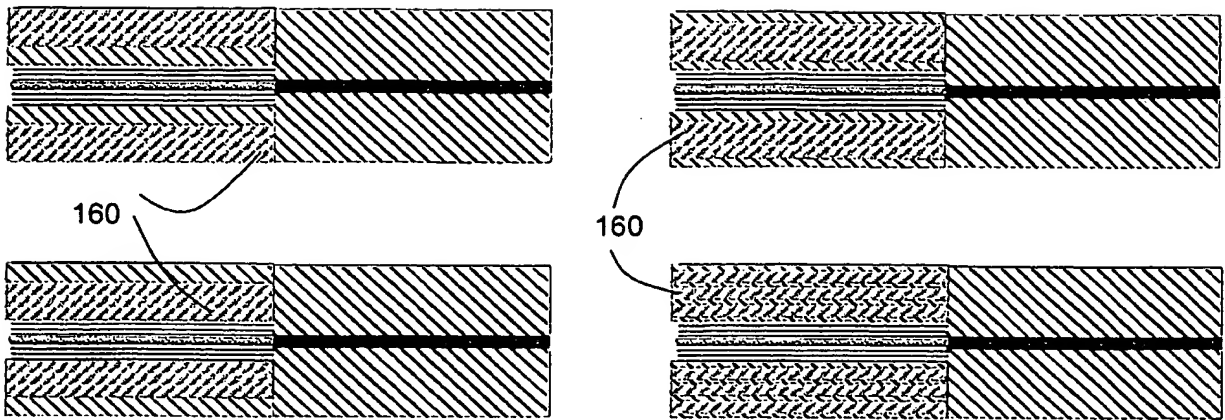


Fig. 16

17/21

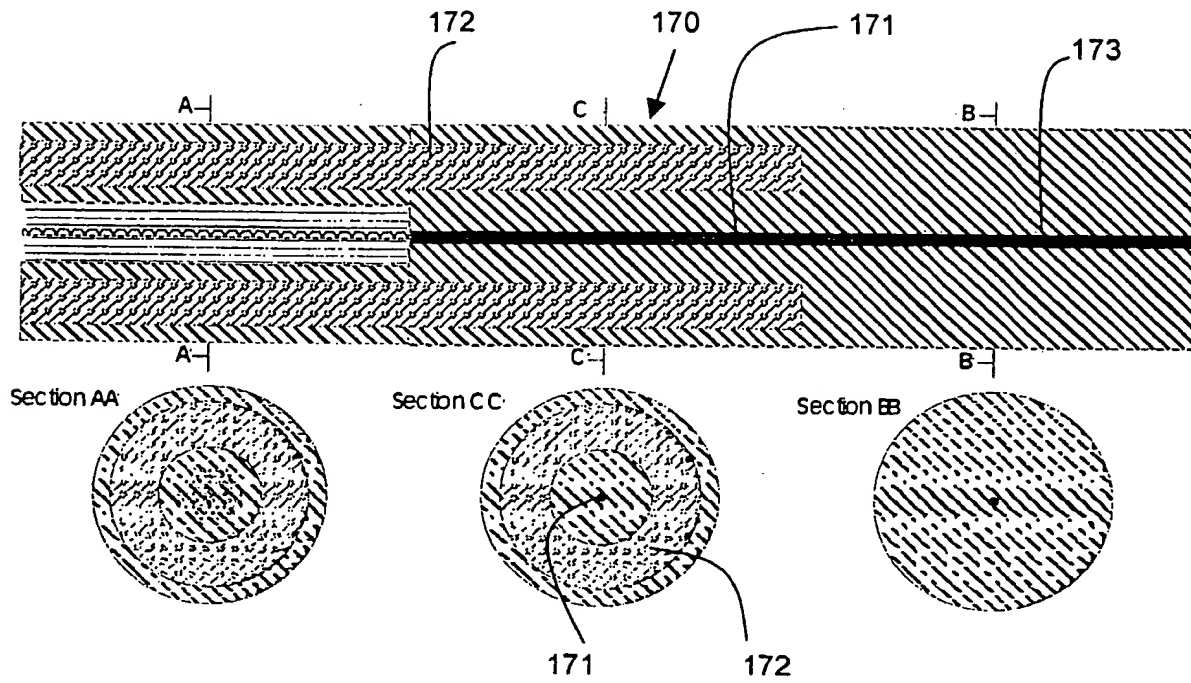


Fig. 17

18/21

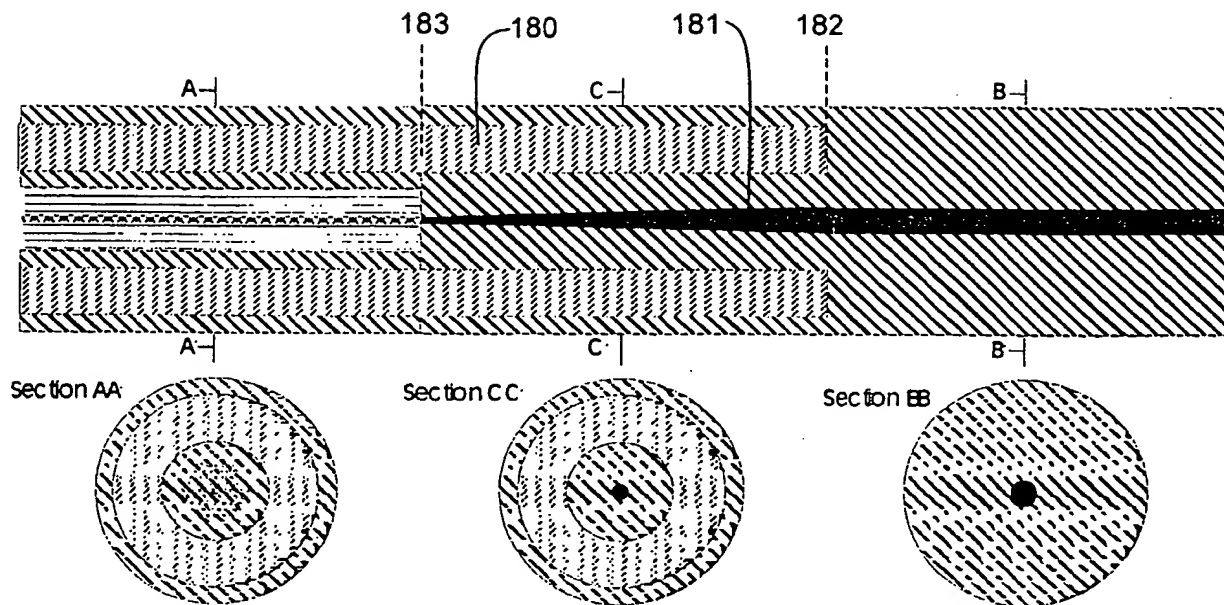


Fig. 18

19/21

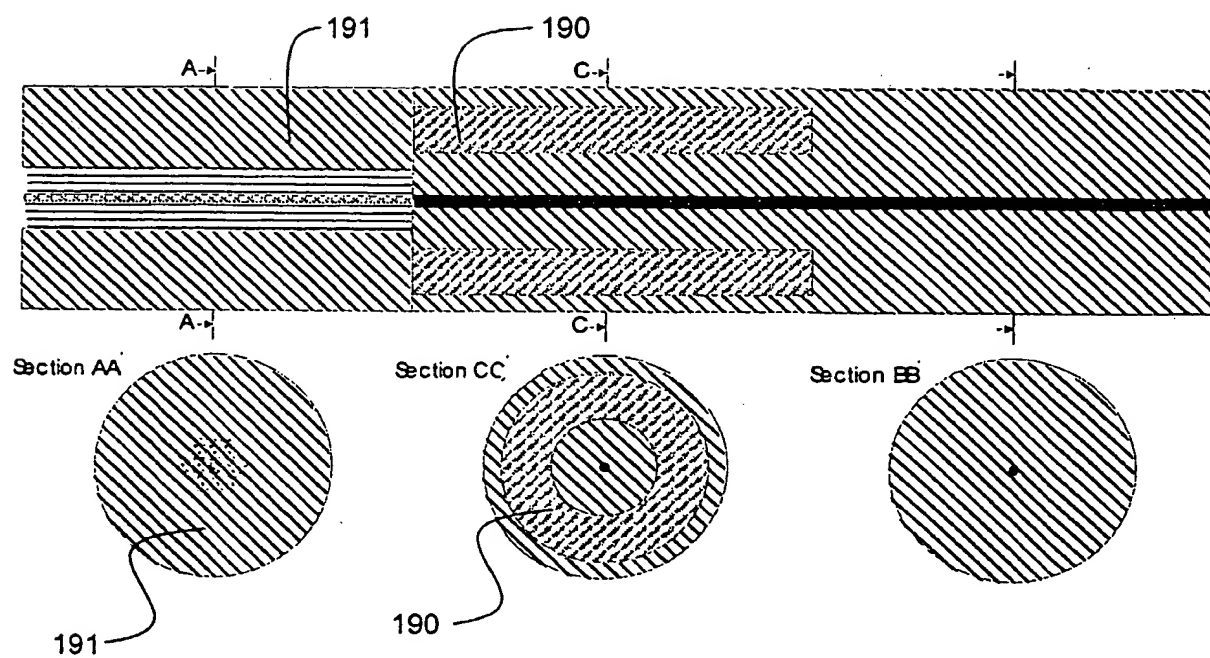


Fig. 19

20/21

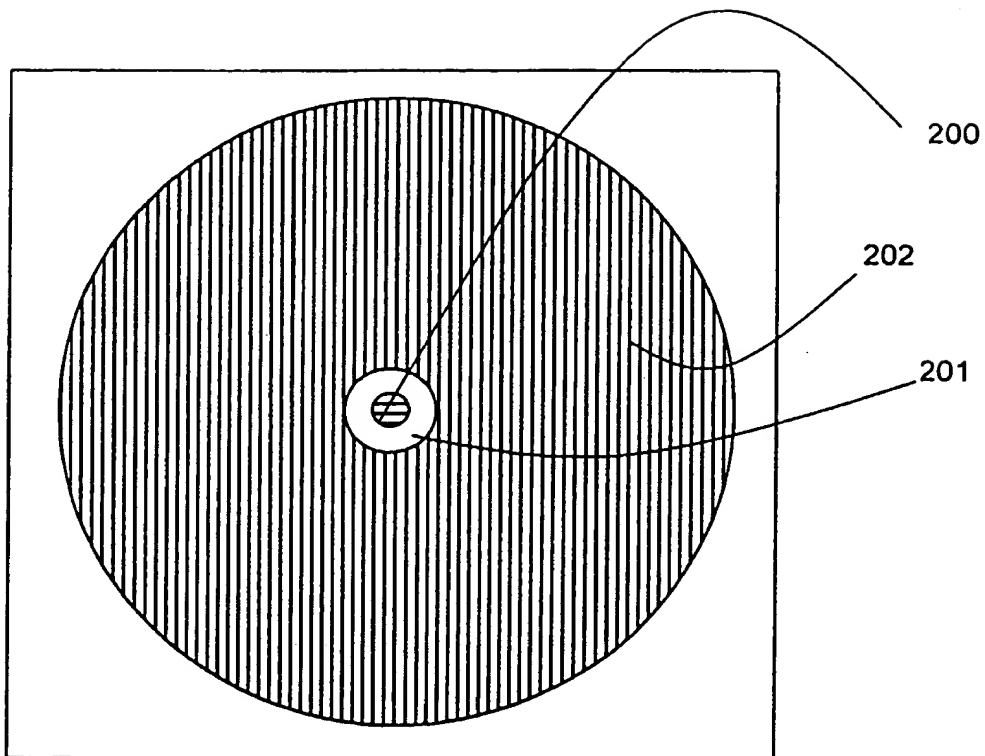
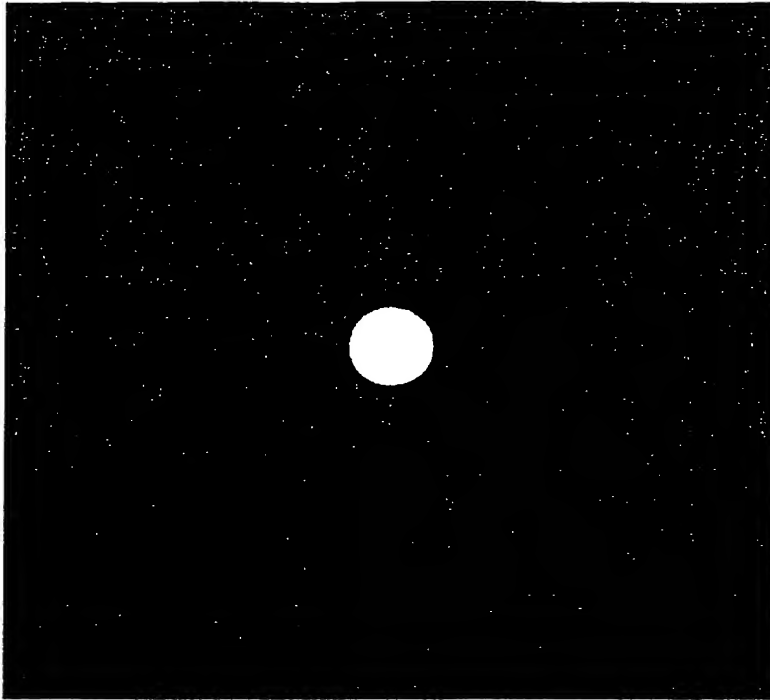


Fig. 20



21/21



Fig. 21

# PATENT COOPERATION TREATY

# PCT

## DECLARATION OF NON-ESTABLISHMENT OF INTERNATIONAL SEARCH REPORT

(PCT Article 17(2)(a), Rules 13ter.1(c) and Rule 39)

Applicant's or agent's file reference <b>CRFIPA0102W0</b>	<b>IMPORTANT DECLARATION</b>	Date of mailing(day/month/year) <b>16/07/2002</b>
International application No. <b>PCT/DK 02/ 00154</b>	International filing date(day/month/year) <b>09/03/2002</b>	(Earliest) Priority date(day/month/year) <b>09/03/2001</b>
International Patent Classification (IPC) or both national classification and IPC <b>C03B37/012, B23K26/00, G02B6/12</b>		
Applicant <b>CRYSTAL FIBRE A/S</b>		


This International Searching Authority hereby declares, according to Article 17(2)(a), that no international search report will be established on the international application for the reasons indicated below

1. ☐ The subject matter of the international application relates to:
  - a. ☐ scientific theories.
  - b. ☐ mathematical theories
  - c. ☐ plant varieties.
  - d. ☐ animal varieties.
  - e. ☐ essentially biological processes for the production of plants and animals, other than microbiological processes and the products of such processes.
  - f. ☐ schemes, rules or methods of doing business.
  - g. ☐ schemes, rules or methods of performing purely mental acts.
  - h. ☐ schemes, rules or methods of playing games.
  - i. ☐ methods for treatment of the human body by surgery or therapy.
  - j. ☐ methods for treatment of the animal body by surgery or therapy.
  - k. ☐ diagnostic methods practised on the human or animal body.
  - l. ☐ mere presentations of information.
  - m. ☐ computer programs for which this International Searching Authority is not equipped to search prior art.
2. ☒ The failure of the following parts of the international application to comply with prescribed requirements prevents a meaningful search from being carried out:
 

☐ the description
☒ the claims
☐ the drawings
3. ☐ The failure of the nucleotide and/or amino acid sequence listing to comply with the standard provided for in Annex C of the Administrative Instructions prevents a meaningful search from being carried out:
 

☐ the written form has not been furnished or does not comply with the standard.
 ☐ the computer readable form has not been furnished or does not comply with the standard.
4. Further comments:  

See additional sheet

Name and mailing address of the International Searching Authority  European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  <b>Loredana Cipolla</b>
---	---

## FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 203

In view of the large number and also the wording of the claims presently on file, which render it difficult, if not impossible, to determine the matter for which protection is sought, the present application fails to comply with the clarity and/or conciseness requirements of Article 6 PCT (see also Rule 6.1(a) PCT) to such an extent that a meaningful search is impossible. Consequently, no search report can be established for the present application.

The applicant's attention is drawn to the fact that claims relating to inventions in respect of which no international search report has been established need not be the subject of an international preliminary examination (Rule 66.1(e) PCT). The applicant is advised that the EPO policy when acting as an International Preliminary Examining Authority is normally not to carry out a preliminary examination on matter which has not been searched. This is the case irrespective of whether or not the claims are amended following receipt of the search report or during any Chapter II procedure. If the application proceeds into the regional phase before the EPO, the applicant is reminded that a search may be carried out during examination before the EPO (see EPO Guideline C-VI, 8.5), should the problems which led to the Article 17(2) declaration be overcome.